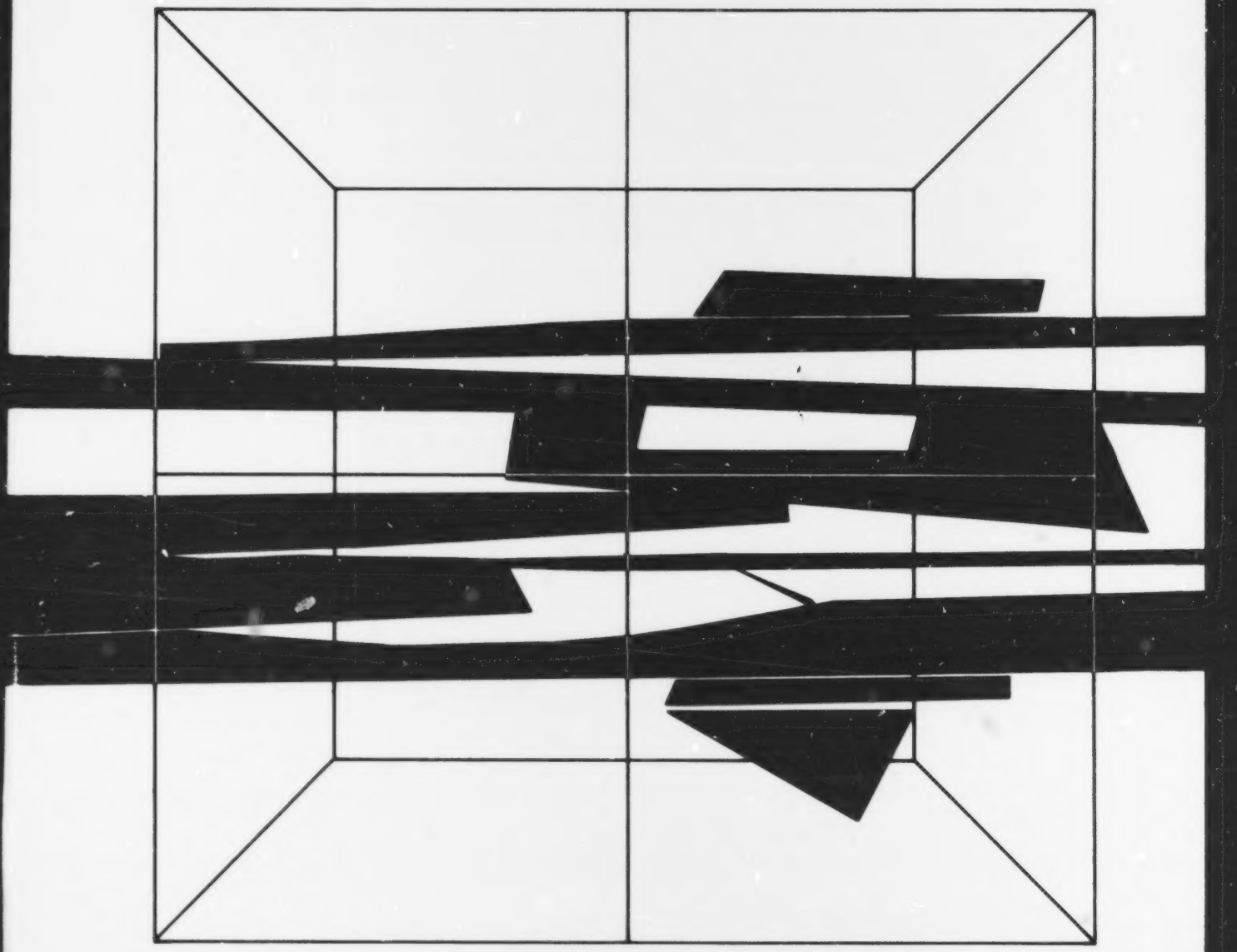
Fires in Electrical Equipment Containing PCBs: Recommendations to Prevent Contamination by PCDFs

First Edition

1885
1985

Report EPS 1/CC/2
March 1985



Environment Canada
Environmental Protection Service

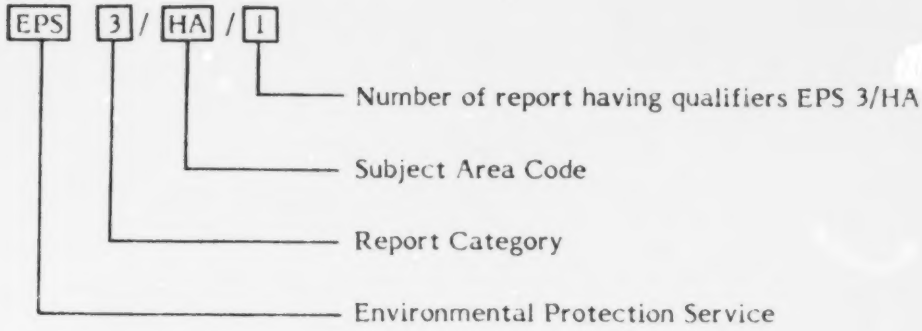
Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement

Canada

85-5132/

ENVIRONMENTAL PROTECTION SERVICE REPORT SERIES

Sample Number:



Categories

1	Regulations/Guidelines/Codes of Practice
2	Public Consultation: Problem Assessment, Control Options
3	Research and Technology Development
4	Literature Reviews
5	Surveys
6	Social, Economic and Environmental Impact Assessments
7	Surveillance
8	Policy Proposals & Statements
9	Manuals

Subject Areas

AG	Agriculture
AP	Airborne Pollutants
CC	Commercial Chemicals
CP	Consumer Pollution
FP	Food Processing
HA	Hazardous Wastes
IC	Inorganic Chemicals
MA	Marine Pollution
MM	Mining & Mineral Processing
NR	Northern Regions
PF	Paper and Fibres
PG	Power Generation
PN	Petroleum and Natural Gas
SP	Oil & Chemical Spills
SRM	Standard Reference Methods
TS	Transportation Systems
UP	Urban Pollution

New subject areas and codes are introduced as they become necessary. A list of EPS reports may be obtained from the Publications Section, Environmental Protection Service, Environment Canada, Ottawa, Ontario, Canada, K1A 1C8.

National Parks Centennial
1885
1985
Centenaire des parcs nationaux

1885–1985:
100 years of Heritage Conservation
Canada's first national park was established in 1885 at Banff, Alberta. Today there are national parks and national historic parks in every province and territory. The National Parks Centennial is an occasion to renew our commitment to preserve examples of our heritage unimpaired for the benefit of all Canadians.

FIRES IN ELECTRICAL EQUIPMENT CONTAINING PCBs: RECOMMENDATIONS TO PREVENT CONTAMINATION BY PCDFs

First Edition

prepared by

Jean M. Carbonneau
Commercial Chemicals Branch
Environmental Protection Service
Environment Canada

Report EPS 1/CC/2
March 1985

COMMENTS

Any comments concerning the contents of this report should be directed to:

Director
Commercial Chemicals Branch
Environmental Protection Service
Environment Canada
Ottawa, Ontario
K1A 1C8

© Minister of Supply and Services Canada 1985
Cat. No. En 49-2/1-2
ISBN 0-662-53590-1
BEAUREGARD PRESS LIMITED

TABLE OF CONTENTS

		Page
SUMMARY		v
1	INTRODUCTION	1
1.1	Background	1
1.2	Objectives	2
2	POLYCHLORINATED DIBENZOFURANS (PCDFs)	3
2.1	Introduction	3
2.2	PCDFs - Properties	3
2.3	PCDFs - Thermal/Pyrolytic Generation	5
2.4	General Observations and Conclusions	9
3	ELECTRICAL EQUIPMENT	10
3.1	General	10
3.2	Transformers	10
3.3	Capacitors	11
3.4	Electromagnets	12
4	CASE HISTORIES	13
4.1	General Observations	13
4.2	North American Fires	13
4.3	Scandinavian Fires	14
4.4	Conclusions	14
5	RECOMMENDATIONS	15
5.1	General	15
5.2	Discussion of Recommendations - Preventive Measures	16
5.3	Discussion of Recommendations - Firefighting Measures	21
5.4	Discussion of Recommendations - Clean-up Measures	24
REFERENCES		27
APPENDIX		29
TABLE 1	RECOMMENDATIONS	iii, 15
FIGURE 1	PCBs, PCDDs, AND PCDFs	4

SUMMARY

The purpose of this publication is both to enhance awareness of fires implicating electrical equipment containing polychlorinated biphenyls (PCBs) and to recommend a course of action for the prevention of contamination by polychlorinated dibenzofurans (PCDFs).

Human exposure to PCDFs alone has not occurred. PCDFs are usually accompanied by PCBs and sometimes by other contaminants, such as polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs). Although the effects observed in humans cannot be solely attributed to PCDFs, it is reasonable to assume that these compounds, like PCDDs, are extremely toxic not only in the short but also in the long term. The toxicity of various PCDF congeners depends upon the position and degree of chlorination; the tetra- and penta-chlorodibenzofurans are the most toxic.

PCDFs are generated when PCBs, chlorinated benzenes (PCBZs), or both are heated in the presence of oxygen at temperatures in the range of 250°C to 700°C. The optimal temperature for the formation of PCDFs appears to be around 500°C. The formation of PCDFs is catalyzed by the presence of certain metals (e.g. iron and copper) or their salts. The pyrolysis of PCBs differs from that of PCBZs in that PCBs do not yield PCDDs.

By far the largest quantity of PCBs still in use in Canada is inside transformers, which on the average contain 1350 kg of PCBs per unit. Compared to that, the content of PCBs in individual capacitors is very small, particularly in those capacitors that are encased in lamp ballasts used for fluorescent and high-intensity discharge lamps. However, unlike transformers and large capacitors installed usually in isolated locations, the capacitors in lamp ballasts are installed throughout buildings, often in large quantities as part of each fluorescent lighting fixture.

Fires implicating PCB-containing electrical equipment are usually caused by electrical faults or malfunction of electrical equipment. Frequently, these fires start in electrical equipment containing mineral oil and then spread to PCB-containing equipment. All fires involving PCBs are smoky and yield large amounts of black, oily soot. This soot is contaminated with PCBs, PCDFs and, if chlorobenzenes are present, PCDDs. PCBs and PCDFs adhere to the soot. Soot analysis shows that approximately 1% of the PCBs are converted to PCDFs. PCB capacitors in fire generated no PCDDs; but PCB transformers in fire did generate PCDDs. PCB transformers in fire generated 1 part of PCDD for every 10 parts of PCDF.

The following comprehensive set of recommendations addresses specifically the prevention of contamination by PCDFs resulting from fires in electrical equipment, and forms a useful basis for the development of effective measures to deal with this problem.

TABLE 1 RECOMMENDATIONS

	PREVENTATIVE MEASURES	FIRE-FIGHTING MEASURES	CLEAN-UP MEASURES
Individual Health and Safety	Information and Training Identification of Equipment Protective Material Contingency Plan	Awareness of PCBs Use of proper Protective Gear Medical Aid Evacuation	Information Protective Procedures • area • individual Medical Attention
Equipment and Facilities	Programs • operation • maintenance/inspection Safety Systems PCB Management	Strategies Materials	Soot Removal Inspection
Environmental Concerns	Containment of: • equipment fluids • contaminants		Decontamination Disposal

1 INTRODUCTION

1.1 Background

Polychlorinated biphenyls (PCBs) produce under certain conditions polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) which are more toxic than PCBs.

Environment Canada estimates that approximately 15 million kg of PCBs are still in use throughout Canada as dielectric fluid in electrical equipment, mostly in transformers and capacitors.[1] Most of this PCB-containing equipment is installed inside or adjacent to buildings.

When fires occur in PCB-containing electrical equipment, physico-chemical conditions are created that are conducive to the generation of PCDFs in significant quantities.[2,3]

A working group formed by the Interdepartmental Committee on Toxic Chemicals (ICTC) to develop a management strategy for dioxins and dibenzofurans prepared an interim report (ICTC - Report No. 1) in August 1982. One of the recommendations contained in this report reads: "That guidelines for the prevention of severe PCDF contamination from accidental fires in PCB-containing electrical equipment be developed".

The responsibility for the development of such guidelines was given to the Commercial Chemicals Branch, Environmental Protection Service, Environment Canada.

M. M. Dillon Limited, Consulting Engineers and Planners, in association with Wellington Environmental Consultants, were retained to conduct a study, under the direction of the Commercial Chemicals Branch, that would address the recommendation of the ICTC working group.

Case histories of ten fires implicating PCB-containing electrical equipment from 1977 through 1982 were reviewed. Two of those fires occurred in Canada, one in the United States of America, five in Sweden, and two in Finland.

The recommendations presented as part of this report were developed in order to limit the formation of PCDFs in electrical equipment and to prevent human exposure to these chemicals, in fire situations.

Since a thorough knowledge of the properties of the PCDFs and the conditions under which they are formed was essential for the development of these guidelines, a computer survey was performed using the Lockheed DIALOG™ data system. The literature was surveyed for the period of 1967 to 1983.

Articles relevant to this project were collected and the information derived from them is discussed in the following sections. For more detailed discussions of PCDFs in the context of their chemistry, biological/toxicological effects, and their occurrence as contaminants in industrial chemicals, the reader is referred to the following publications:

- Jones, P.A., Chlorophenols and Their Impurities in the Canadian Environment, Environmental Protection Service, Report EPS 3-EC-81-2 (March 1981).
- Chittim, B., B.S. Clegg, S. Safe and O. Hutzinger, PCDFs and PCDDs: Detection and Quantification in Electrical Equipment and Their Formation During the Incineration of PCBs, Wellington Science Associates, Prepared for Environment Canada, Contract No. 05578-00067 (1979).
- Mitchell, M.F., H.A. McLeod and J.R. Roberts, Polychlorinated Dibenzofurans: Criteria for Their Toxic Effects on Humans and the Environment, National Research Council of Canada, Report No. 28846 (1984).

1.2 Objectives

The principal purpose of this study is both to enhance awareness to fires implicating electrical equipment containing polychlorinated biphenyls (PCBs) and to recommend a course of action for the prevention of contamination by polychlorinated dibenzofurans (PCDFs).

More specifically, the recommendations are to relate to the conditions before, during, and after a fire. The recommendations are concerned with the aspects of individual health and safety, equipment and facilities, and environmental control.

The recommendations deal with the PCDF contamination only. PCDDs and other contaminants that are known to form during some of the fires in or near electrical equipment, are outside the scope of this report. Where references to PCDDs appear in this report, they are incidental.

2 POLYCHLORINATED DIBENZOFURANS (PCDFs)

2.1 Introduction

Polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) have received considerable attention recently because of their severe toxicological properties and their occurrence as contaminants in widely used industrial chemicals such as the chlorinated phenols (CPs). In addition, they can be thermally and pyrolitically generated from CPs, polychlorinated biphenyls (PCBs), and chlorobenzenes (PCBZs). For this reason, they can be found in fly ash from municipal incinerators.

In Canada, considerable quantities of PCBs and PCBZs are contained in active electrical equipment (see Section 3) or in storage awaiting disposal. Other fluids substituted for PCBs in such equipment may very well be contaminated with PCBs (and PCBZs).

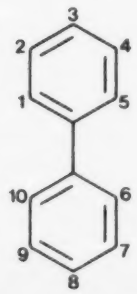
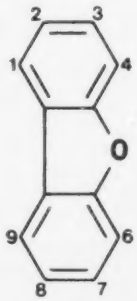
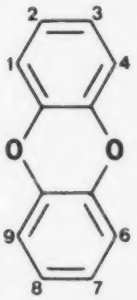
Fires implicating electrical equipment containing PCBs and PCBZs can lead to the formation of PCDFs. Failures in this equipment (e.g. electrical arcing) may produce PCDFs as well.

2.2 PCDFs - Properties

2.2.1 Physical/Chemical Properties. The PCDFs are a series of chlorinated tricyclic aromatic compounds having the same basic structure. As can be seen in Figure 1, they are very similar in structure to another series of compounds, the chlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs); it has been shown that the properties of these two groups often, if not always, parallel one another.

As shown in Figure 1, substitutions with one to eight chlorine atoms lead to the formation of 135 possible PCDF congeners. They are all crystalline solids at room temperature, the individual congeners melting at temperatures ranging from ca. 100 to 250°C. At standard temperature and pressure they have no appreciable vapour pressure.[4,5] Like the PCBs and PCDDs, the PCDFs are extremely insoluble in water and only sparingly soluble in most organic solvents. The solubility of the individual congeners generally decreases with increasing chlorine content.[4]

2.2.2 Biological/Toxicological Properties. The PCDFs behave in the environment like most halogenated aromatic compounds; they are highly stable, tend to persist and bioaccumulate in fatty tissues. Although there have been few reports on their ecokinetic properties, it is generally assumed that movement of PCDFs in aquatic systems and in air would largely occur via their adsorption on particulate.[4]

	Polychlorinated Biphenyls	Polychlorinated Dibenzofurans	Polychlorinated Dibenzodioxins
Molecular Structure & Numbering Sequence			

		PCBs	PCDFs	PCDDs
Number of Isomers	Mono	3 (3)*	4	2
	Di-	12 (10)	16	10
	Tri-	24 (17)	28	14
	Tetra-	42 (27)	38	22
	Penta-	46 (22)	28	14
	Hexa-	42 (26)	16	10
	Hepta-	24 (18)	4	2
	Octo-	12 (9)	1	1
	Nona-	3 (1)	-	-
	Deca-	1 (1)	-	-
	TOTAL	209 (134)	135	75

* Numbers in parentheses indicate the number of isomers found in technical formulations.

FIGURE 1 PCBs, PCDFs, AND PCDDs

The discovery of PCDF contamination of PCBs was due in large part to the toxicity of some of the individual PCDF isomers. For example, previous research has shown that some fractions of PCBs were far more toxic to chicks than others; and that these fractions contained PCDFs.[6]

The toxicity of individual PCDF congeners is extremely dependent upon the position and degree of chlorination. The tetra- and penta-chlorodibenzofurans are the most toxic, in particular, the 2,3,7,8-tetra, 1,2,3,7,8-penta and 2,3,4,7,8-pentachlorodibenzofurans.[7] The LD_{50} for orally consumed 2,3,7,8-TCDF in most animal species has been reported to be of the order of micrograms per kilogram.[8,9] Human exposure to PCDFs alone has not been reported although related incidents have been.

In Japan, over 1,000 people consumed rice oil contaminated with PCBs.[10] It was subsequently postulated that the toxic symptoms observed were due in part to PCDF contamination of the PCBs. In addition, exposure to PCDDs and PCDFs has been discussed in relation to malignant tumors among spraymen exposed to phenoxy acid herbicides in the 1950's and 1960's in Sweden.[11]

Although the effects observed in humans cannot be solely attributed to PCDFs, it is reasonable to assume that these compounds, like PCDDs, are extremely toxic not only in the short but also the long term.

2.3 PCDFs - Thermal/Pyrolytic Generation

2.3.1 Background. PCDFs are present as contaminants in chemicals such as chlorinated phenyls (CPs) and phenoxy acid herbicides. Of major importance to this study is that PCDFs have also been detected as contaminants in PCBs and askarels (the generic name for mixtures of PCBs and PCBZs) and that they exist in fresh fluids. The total levels of PCDFs found in these unused products have been reported to range from 0.1 to 33 ppm.[12]

Levels of PCDFs are higher in used PCB-based fluids. For example, in PCBs used as a heat transfer medium, levels of PCDFs up to 500 ppm have been reported.[12] The levels of 2,3,7,8-TCDF in askarel-filled transformers have also been found to be higher in those units that have been in service for long periods of time.[13]

Therefore PCDFs most likely exist in active electrical equipment containing PCBs (and PCBZs). Under severe conditions, such as fire to this equipment, much higher levels of PCDFs can be formed. Laboratory research has been carried out to determine the conditions under which PCDFs are formed thermally and pyrolytically from their precursors (i.e., PCBs and PCBZs).

2.3.2 Pyrolysis of Chlorobenzenes. Transformer-grade askarels contain from 30 to 40 per cent (w/w) chlorobenzenes; the remaining 60% to 70% are PCBs (either Aroclor® 1254 or 1260). The chlorobenzenes used are mixtures of trichlorobenzenes (primarily the 1,2,4- and 1,2,3- isomers) and tetrachlorobenzenes (primarily the 1,2,3,4-isomer).

Studies of the pyrolysis of PCBZs have shown that in the presence of oxygen, oxygen-containing aromatic compounds (PCDDs and PCDFs) are formed, whereas in its absence (e.g. under nitrogen) oxygen-free aromatic products are produced.[14,15]

In 1979, Buser[15] reported the formation of PCDFs (and PCDDs) through pyrolytic reactions of chlorobenzenes. In this research, individual as well as combined samples of tri-, tetra- and pentachlorobenzenes were pyrolyzed in air at 620°C in quartz ampoules. The major products of the resulting mixture were chlorobenzenes, with decomposition of the lower chlorinated benzenes occurring to a greater extent than that of the higher chlorinated benzenes, i.e., more than 95% for trichlorobenzenes, approximately 90% for tetrachlorobenzenes and approximately 50% for pentachlorobenzenes in the combined sample. Other products of the pyrolyses included PCDFs, PCDDs, PCBs, CPs, chlorinated naphthalenes (PCNs) and chlorinated styrenes (PCSs).

Significant quantities (up to 10% yields) of PCDFs were formed in the pyrolyses. Generally the PCDFs formed had chlorine numbers of 2m-2, 2m-1, and 2m; where m is the chlorine number of the chlorobenzene used; e.g., pyrolysis of the trichlorobenzenes gave tetra-, penta-, and hexachlorodibenzofurans.

According to Buser, the thermochemical formation of the PCDFs (and PCDDs) from the PCBZs is bimolecular, and so their formation depends on the PCBZ concentration. Buser also proposed that the CPs (present in all pyrolyzed samples) are intermediates in the formation of the PCDFs. A reaction of the CPs with PCBZs could lead to chlorinated diphenylethers (PCDPEs) which upon pyrolysis are known to yield PCDFs.

2.3.3 Heating/Pyrolysis of PCBs. Heating PCBs at sufficiently high temperatures results in the formation of PCDFs. Buser and his co-workers[16] found increased levels of PCDFs (in the ppm range) not only in a commercial PCB mixture heated at 300°C for a week in the presence of air, but also in a PCB mixture used in a heat exchange system.

Several groups have since studied the pyrolytic/thermal formation of PCDFs from PCBs in the laboratory to determine the mechanisms involved, the additional reactants necessary, and any catalysts that may enhance the formation of these compounds.

2.3.3.1 Mechanisms. In 1979, Buser and Rappe[16] studied the pyrolyses of 18 PCB congeners and determined that the formation of PCDFs in these reactions resulted from intramolecular cyclization processes. They determined that the formation of the PCDFs from PCBs follows one or more of four general reaction routes:

a) Loss of ortho-Cl_2
b) Loss of HCl with or without a 2-3 chlorine shift
c) Loss of ortho-HCl
d) Loss of ortho-H_2

A further mechanism for the formation of PCDFs from pyrolysis of PCBs has been proposed as part of an investigation of trace organic compounds in fly ash from municipal and industrial incinerators. Choudhry and Hutzinger[17] have proposed that the reaction proceeds according to the following mechanism:

i) chlorinated diphenyl radicals are first formed from PCBs by either abstraction of ortho-hydrogen by free radical species or by scission of an ortho C-Cl bond,
ii) reaction of these diphenyl radicals with O_2 to form peroxide radicals which in turn form ortho-hydroxychlorinated biphenyls, and finally,
iii) cyclization of these chlorinated biphenyls to form PCDFs.

2.3.3.2 Temperature. PCB pyrolyses have been carried out in the laboratory at temperatures ranging from 200°C[18] to 850°C.[19] There is some discrepancy, however, regarding the effect temperature has on the amounts of PCDFs formed. The optimal temperatures for PCDF formation in two separate studies were reported to be 500°C[20] and 550°C[18], whereas in yet another study the authors found that at 330°C the PCDFs formed began to decompose.[21]

The minimal temperature reported by Morita and his co-workers[21] for PCDF formation is 270°C. In their article they suggest that the PCDF levels formed are governed by the transient equilibrium of thermal formation and decomposition.

Buser et al.[19] investigated the pyrolysis of two hexachlorobiphenyls at temperatures ranging from 550°C to 850°C. PCDFs were formed at temperatures of 550°C to 650°C. However, at 700°C and above complete destruction of these PCDFs occurred.

2.3.3.3 Time. Only one study has reported the effect of time on the pyrolytic formation of PCDFs from PCBs.[21] The authors found that at 300°C the amounts of

PCDFs formed increased to a maximum at 7 days with O_2, 14 days with air, and then gradually decreased.

2.3.3.4 Atmosphere. The structures of PCBs and PCDFs require a source of oxygen for their conversion. This was confirmed in one study where PCBs were pyrolyzed under oxygen, air and nitrogen.[21]

PDCFs were formed in good yields when oxygen was used, lesser amounts (ca. one tenth that of O_2) in the presence of air, and very little, if any, were formed under nitrogen. (The PCDFs formed were attributed to either oxygen, water, or some other oxygen-containing contaminants in the nitrogen.)

2.3.3.5 Catalysis. Addition of Fe[18], $FeCl_3$[20], or Cu-Fe powder[20] has been found to increase the amounts of PCDFs formed during the pyrolysis of PCBs. The reactions are probably similar to Ullman-type catalyzed reactions[17], in which case many other metals may also catalyze the reaction.

2.3.4 Pyrolysis of Askarels. As discussed earlier, askarels are mixtures of PCBZs and PCBs. Pyrolysis of these mixtures is therefore likely to yield PCDFs and PCDDs (the latter from the PCBZs).

To our knowledge only one study has reported on the in-lab pyrolysis of askarels.[13] In that study, samples of Aroclors® 1254 and 1016 and the askarels Pyranol®, Inerteen™, and Chlorextol™ were pyrolyzed under air at 500°C. The pyrolysates were analyzed for PCDFs and the tetrachlorodibenzofurans (TCDFs) quantified.

All askarels yielded significant quantities of TCDFs (ca. 40 to 500 micrograms TCDF per gram of starting material) as did Aroclor™ 1254. Aroclor™ 1016, by contrast, yielded much lower quantities of TCDFs. This difference is most likely due to the lower chlorine content of the PCBs in Aroclor™ 1016; i.e., very little penta- and hexachlorobiphenyls. PCDDs were not detected, possibly because they were formed in such low quantities that they were masked by the higher levels of PCDFs.

2.3.5 Pyrolysis of PCB-contaminated Mineral Oil. To date no reports of experiments investigating the heating or burning of PCB-contaminated oils of any type and the analysis of products formed have been published.

Mineral oils (also called naphthenic or white oils) used for dielectric insulation are mixtures of paraffinic (ca. 70%) and aromatic (ca. 30%) hydrocarbons.[22] These oils are frequently contaminated with PCBs in concentrations that often exceed 50 ppm (see Section 3).

Quantities of PCDFs formed in a fire situation implicating such oils are difficult to predict. If a 1% PCB to PCDF conversion is assumed, a 1000-L transformer filled with mineral oil containing 100 ppm PCB would yield 1 ppm PCDFs or a total of 1 gram of PCDFs.

The conversion of PCBs to PCDFs could, however, be higher or lower. For example, the temperatures reached in a mineral oil fire could be high enough so that all the PCBs and PCDFs are destroyed. By contrast, the mineral oil could act as a fuel feeding the fire over a longer period of time and potentially produce more PCDFs (PCBs or askarels, unlike mineral oils, would quench a fire).

The mineral oil components could take part chemically in the conversion of PCBs to PCDFs according to the reaction mechanism proposed by Choudhry and Hutzinger[17] (see 2.3.3.1).

This is one area where much more research is required.

2.4 General Observations and Conclusions

From this laboratory research several conclusions can be drawn regarding the thermal/pyrolytic generation of PCDFs:

(a) PCDFs are formed when PCBs, PCBZs, or both are heated in the presence of oxygen at temperatures greater than ca. 250°C but less than ca. 700°C.

(b) The optimal temperature for the formation of PCDF is ca. 500°C, however lower temperatures have been reported.

(c) Oxygen (pure O_2, air, or possibly other oxygen-containing compounds) is required. The yields of PCDFs depend on the amount of oxygen present.

(d) The formation of PCDFs is catalyzed by the presence of certain metals (e.g. iron or copper) or their salts.

(e) Percentage yields of PCDFs (i.e., 1% or greater) have been reported when PCBs, PCBZs, and askarels have been pyrolyzed.

(f) In addition to PCDFs, PCDDs are also formed when PCBZs are pyrolyzed.

Although the number of variables is such that it is difficult to predict accurately to what extent PCDFs are formed during a fire situation, their formation should nevertheless not be dismissed.

3 ELECTRICAL EQUIPMENT

3.1 General

Fire-resistent dielectric liquids, known under the generic name of askarels, have been used in electrical equipment in Canada since the early 1930's. Transformer-grade askarels consist of polychlorinated biphenyls (PCBs) usually blended with chlorinated benzenes (PCBZs) in varying ratios.[23] The most common transformer-grade askarels used in Canada contain 60% to 70% PCBs and 30% to 40% PCBZs. Capacitor-grade askarels (ASTM Types 2233A, B, and D) contain no PCBZs, only PCBs.[24]

The main reason for using askarel equipment indoors, in preference over mineral oil equipment, is the superior fire-resistent property of askarel. The main reasons for using askarel equipment indoors, in preference over dry-type, air-cooled equipment, are:

(i) the superior dielectric strength of askarel;
(ii) suitability for use in areas where the ambient atmosphere is badly contaminated with dust, dirt, or corrosive fumes;
(iii) where the ambient atmosphere is extremely damp;
(iv) where the hazard of lightning surge is unduly high.

3.2 Transformers

The transformers, which present a potential hazard for contamination by PCDFs, fall into two categories:

(i) those that were designed to use askarel as the dielectric and cooling medium, and
(ii) those that were designed to use mineral oil as the dielectric and cooling medium, but contain PCBs due to an adventitious contamination of the mineral oil.

Askarel transformers were designed as sealed units complete with pressure-relief vents. Relief vents are usually designed to operate at a tank pressure in the range of 50 to 70 kPa. The tanks can bulge when pressure exceeds 70 kPa, and rupture when pressure exceeds 175 kPa.

The typical range of askarel transformers is 300 kVA to 5000 kVA, with an average transformer containing approximately 1400 kg of PCBs.

Askarel does not support or sustain combustion until it reaches its boiling point at approximately 205°C. It has a high dielectric strength, exceeding that of mineral oil.

Internal arcing faults may create conditions in which PCDF are generated. With respect to the potential for PCDF formation, the following two types of fault in the transformer windings have been considered.

In the event of a short-circuit within the transformer, the tank should remain intact, being disconnected by the primary circuit breaker or fuse protection assembly. The speed at which the transformer will be disconnected depends on the magnitude of the fault current, and the speed at which the protection mechanism operates.

An escalating high-impendance fault accompanied by arcing is more serious. This type of arcing fault may cause the current to increase over an extended period, increase the temperature of the askarel, and increase the tank pressure to a dangerous level. This can result in the opening of the relief vent whereupon askarel and gases could be expelled from the tank.

3.3 Capacitors

Capacitors containing askarel are used for the following applications:

(i) power factor correction and voltage regulation of high-voltage lines and transformer stations;

(ii) power factor correction for indoor power distribution systems;

(iii) fluorescent and high-intensity discharge (HID) lamp ballasts.

Capacitors containing PCBs have been manufactured since the 1930's until 1979 when askarel became no longer available.

All askarel capacitors are sealed in metal enclosures. The enclosure would have to rupture to spill askarel.

A dielectric breakdown within a capacitor could cause hot spots within the capacitor and, in turn, cause the formation of PCDF without rupturing the capacitor enclosure.

High-voltage power factor correction and voltage regulation capacitors are normally located outdoors on poles or structures, and at outdoor transformer stations.

Indoor power distribution systems may have power factor correction capacitors located at the main secondary switchboard, at motor control centres, or at individual electric motors. The degree of hazard is similar to that of small askarel transformers.

Capacitors used for power factor correction are installed either outdoors or in isolated indoor locations. Capacitors used in lamp ballasts, however, are installed throughout a building as part of fluorescent or HID lighting systems. In a large building,

the lighting system may include many thousands of PCB capacitors encased in the lamp ballasts. Therefore these lamp ballasts present a higher degree of hazard than power factor correction capacitors, in spite of the fact that a single lamp ballast unit contains a relatively small amount of PCBs.[25]

3.4 Electromagnets

Electromagnets may be located in industrial plants, scrap metal yards, and mineral conveyor systems.

The number of units and total amount of PCB contained in electromagnets is considered to be relatively small compared to transformers and capacitors.

The degree of hazard is nevertheless similar to that of small askarel transformers.

4 CASE HISTORIES

All occurrences, actions, etc., are discussed with reference to the situation before the fire, what happened during the fire, and how clean-up was handled after the fire. More detailed information is given in the Appendix.

4.1 General Observations

Electrical fires in transformers and capacitors have historically been very common occurrences. Toronto Hydro has documented an average of one transformer fire per year. Only one of those fires implicated a transformer containing PCB.

There have been few documented incidents of PCB fires. Several hypotheses are advanced for this:

(i) PCBs do not burn easily;

(ii) awareness that PCBs and their combustion products pose extreme risks when implicated in electrical fires did not exist until after the Binghamton, N.Y., fire in 1981;

(iii) companies that have small fires implicating PCBs probably do not report them in order to avoid expensive clean-ups and intense public concern triggered by PCB incidents.

PCB fires are a normal occurrence in U.S.A., but all, except the one at Binghamton, have been quite small with no in-depth study or analysis having been carried out. The majority of PCB fires go by without being tested for PCDFs, because of the lack of awareness concerning the hazards of PCDFs.

All documented fires in transformers in North America were caused by electrical malfunction. In all these cases the characteristics were very consistent: very small flames, accompanied by large amounts of heat, released thick, black smoke leaving residues of oily, black soot.

All documented Scandinavian incidents implicated capacitors containing PCBs. All but one of these fires were caused by an electrical malfunction in the capacitors. In all these fires the soot was contaminated with PCDFs, but not with PCDDs. The lack of PCDD formation has been explained by the absence of chlorobenzenes in those capacitors.

4.2 North American Fires

Case histories of three North American fires involving PCB-contaminated electrical equipment were reviewed:

Toronto Fire	9 December 1977
Binghamton Fire	5 February 1981
Manitoba Fire	29 March 1982

4.3 Scandinavian Fires

Seven PCB fires or explosions have occurred in Sweden and Finland since 1977: These are, in chronological order:

Norrtalje, Sweden*	June 1977
Danviken, Sweden	August 1981
Skovde, Sweden	March 1982
Imatra, Finland*	August 1982
Helsinki, Finland*	August 1982
Surahammar, Sweden	September 1982
Hallstahammar, Sweden*	November 1982

4.4 Conclusions

The case histories discussed in this report are typical of electrical fires implicating PCB-containing transformers or capacitors.

The fires are rarely, if ever, caused by PCBs themselves. The PCB fluid is normally incidental to a fire caused by an electrical malfunction or a mineral oil fire. Fire implicating PCBs are smoky and yield large amounts of black oily soot. This soot is contaminated with PCBs, PCDFs and, if chlorobenzenes are present, PCDDs.

Testing has indicated that PCBs and PCDFs do not volatilize from soot. In all these case history studies, testing was conducted to determine the amount of PCDFs formed during the fire in relation to the amount of PCBs available. Approximately 1% of the PCBs are converted to PCDFs, and 10 times more PCDFs than PCDDs are formed.

---

* Specific details are not known.

5 RECOMMENDATIONS

5.1 General

The recommendations put forward in Table 1 define the general context from which more specific, more refined procedures are to arise. Such procedures must transcend general guidelines for fire prevention, fire-fighting, and clean-up after a fire.

The recommendations deal with additional precautions applicable to the possible formation and subsequent dissemination of PCDFs during and after a fire.

TABLE 1 RECOMMENDATIONS

	PREVENTIVE MEASURES	FIRE-FIGHTING MEASURES	CLEAN-UP MEASURES
Individual Health and Safety	Information and Training	Awareness of PCBs	Information
	Identification of Equipment	Use of proper Protective Gear	Protective Procedures
	Protective Material		• area
	Contingency Plan	Medical Aid	• individual
		Evacuation	Medical Attention
Equipment and Facilities	Programs	Strategies	Soot Removal
	• operation	Materials	Inspection
	• maintenance/inspection		
	Safety Systems		
	PCB Management		
Environmental Concerns	Containment of:		Decontamination
	• equipment fluids		Disposal
	• contaminants		

5.2 Discussion of Recommendations - Preventative Measures

INDIVIDUAL HEALTH & SAFETY

These measures aim primarily at the benefit of personnel; they will also facilitate action by the emergency response crews.

1. Information and Training

Personnel should be informed on the procedures to follow in case of fire. This will not only prevent exposure to those taking uninformed actions during a fire, but also instill caution.

Practice, rehearsal, and training are necessary to ensure that personnel can be evacuated or appropriate precautions and countermeasures taken, pending arrival of emergency response crews.

Fire wardens should be familiarized with the additional hazards posed by PCDFs and with any special countermeasures necessary in the event of a fire implicating electrical equipment and possibly PCDFs.

2. Identification of Equipment

Each piece of electrical equipment containing PCDF precursors should be identified, properly labelled, and its location recorded on a schematic layout of the facility. This will prevent exposure to those taking uninformed actions in case of fire, and instill caution. In addition, areas to be avoided or restricted to authorized personnel can be more easily defined.

The emergency response crews (fire department, environmental protection departments) should also be informed on the identity and location of such equipment to enable them, in the event of an emergency, to use appropriate material and implement adequate countermeasures.

3. Protective Material

Fire alarms systems, fire extinguishers should be clearly labelled and readily accessible. Voice communication systems should be checked periodically. Fire exits should be free of any obstacles.

Fire extinguishers and self-contained breathing apparatus (SCBA) should be inspected periodically.

4. Contingency Plan

This plan should contain clear courses of action and various options for dealing with emergency situations. This contingency plan should also be provided to and discussed with emergency response crews. The plan should also consider evacuation needs and actions to be taken prior to arrival of emergency response crews.

EQUIPMENT & FACILITIES

These measures aim primarily at protecting equipment and facilities.

1. Programs

(a) Of Operation

- Equipment should not be operated above design ratings.
- Undersized (overloaded) equipment is more prone to deterioration and failure, thereby increasing the risks for fire.

(b) Of Maintenance and Inspection

- A good inspection program keeps operating equipment in condition and identifies defective equipment.
- Repair the equipment before it becomes hazardous.

2. Safety Systems

(a) A properly designed fire-extinguishing system can begin the fire control procedure even before emergency response crews are aware of the fire. Install automatic fire-extinguishing systems, and distribute small portable extinguishers at strategic locations.

(b) Shutting the power off reduces both the arcing and the production of PCB/PCBZ degradation products; it also cuts the energy input and reduces the intensity of fires. In addition, firefighting is always delayed pending equipment shut-off. A prompt intervention reduces damage to equipment and limits generation of smoke and fumes. Install alarms, shut-down systems, or both on equipment.

(c) The ventilation system is a major route by which contamination spreads. Smoke, fumes, and hot gases may be carried throughout an entire building by convective effect, resulting in massive widespread contamination from a relatively localized occurrence. Install auto-close mechanisms on the ventilation network.

3. PCB Management

(a) Do not mix PCB equipment with non-PCB equipment.

PCB transformers and capacitors should be physically separated from non-PCB equipment so that in case of a fire in a mineral oil transformer, the fire will not spread to PCB equipment.

A fire starting in PCB equipment may not be self-sustaining when the power is off, whereas a fire in a mineral oil transformer will continue to burn. If PCBs are implicated in a self-sustaining fire, the difficulty of controlling the contaminant dispersion is compounded; not only must contaminants be contained, but their containment must take place during the control of another emergency of higher priority.

(b) Remove PCBs from equipment, and retrofill with non-PCB fluids.

Where possible, this course permits the reduction of hazard without incurring the major capital expense of replacing the equipment.

There are several caveats with this course:

(i) the flammability with a retrofilled appliance is greater than with a PCB appliance,

(ii) draining and retrofilling of equipment may not be practical,

(iii) the replacement fluid will become contaminated and may contain more than 50 ppm PCBs.

ENVIRONMENTAL CONCERNS

These measures aim primarily at minimizing dispersion into the environment.

Containment of Equipment Fluids

A containment system; e.g., berms, curbs, dams, capable of holding more than the total volume of fluids contained within the equipment should be provided for each piece of equipment.

Drains in the floor must be outside the containment area.

A drain-sealing system must be in place to prevent contaminants from escaping to the sewer system.

Containment of Contaminants

All surfaces (walls, ceilings, and floors) should be painted with materials impermeable to PCBs and PCDFs. This precaution will facilitate clean-up and may also avoid the necessity of removing building materials as part of the decontamination process.

5.3 Discussion of Recommendations – Firefighting Measures

INDIVIDUAL HEALTH & SAFETY

These measures highlight the additional precautions necessary to avert anticipated hazards arising from fires implicating PCBs.

1. Awareness of the Presence of PCBs

Warn emergency response crews about the identity and location of PCB equipment. This will lead to the use of proper extinguishing techniques, including personal protective gear.

2. Use of Proper Protective Gear

Hazards are likely to be associated with an electrical fire as well. Therefore, protective gear should guard against heat, asphyxiants, and corrosive atmospheres.

Protection against PCDFs should be based on a limit of 1.5 ng/m^3 (24 hour average)*. This means use of full protective suit and self-contained breathing apparatus.

3. Medical Aid

Due to the extremely toxic effects involved, emergency medical aid should be on call. Where personnel has been exposed to gases from a fire, decontamination of both skin and protective material is required.

Medical testing is also required.

4. Evacuation

All ventilation openings (inlets and outlets) in the building should be closed automatically. Otherwise evacuation of adjacent buildings must be considered whenever contamination could reach other buildings. The hazardous nature of PCDFs justifies a conservative course of action.

---

* The Ontario Ministry of Labour, in its Chlorinated Dioxins and Chlorinated Dibenzofurans Ambient Air Guidelines (Dec. 1982) has recommended an annual exposure limit for TCDD of 30 pg/m^3. PCDFs have not been specifically addressed, but the limit for mixtures of TCDD and PCDFs implies that TCDD is more toxic by a factor of 50. This would suggest an annual average limit of 1500 pg/m^3, i.e. 1.5 ng/m^3.

EQUIPMENT & FACILITIES

These measures aim at promoting a quicker control of fire and, in turn, minimizing hazards and damage.

1. **Firefighting Strategies**

(a) Concerning Power

Ensure that power is off. A power-on situation complicates firefighting considerably, requiring extra precautions to avoid potentially live sources, both for personal safety and for fire control.

(b) Concerning Ventilation

If one of the three necessities for fire is absent - in this case the oxidant (O_2, air) - then control and extinguishment may be achieved at much less cost and result in much less damage.

Ensure that air inlets/outlets and access to a building's ventilation system are closed.

If this is not done, what should have been a localized confined contamination can become a major environmental problem, contaminating all areas accessible to the building's ventilation system.

Once a fire has been extinguished in this way, **caution** is required to avoid re-ignition when air is re-admitted, while ignition sources still remain.

2. **Firefighting Materials**

Carbon dioxide (CO_2) and HALON® act by segregating the oxidant (O_2, Air) from the fuel. Although they do not have as significant a cooling effect as water does, they do not have the drawbacks that water has either.

ENVIRONMENTAL CONCERNS

The emphasis on environmental concerns has been placed on the Preventive Measures to warrant the precedence given to firefighting measures during the emergency.

5.4 Discussion of Recommendations - Clean-up Measures

INDIVIDUAL HEALTH & SAFETY

These measures aim at minimizing exposure to the hazards the contaminants pose.

1. Information

Personnel must be informed of the occupational health concerns of PCBs, PCDDs, PCDFs, and the cleaning materials used.

Training of clean-up crews in recognizing the hazards of the task is a necessary adjunct to the provision of protective gear.

2. Protective Procedures

(a) Area

Monitor contamination of the area to

(i) indicate the degree of hazard,
(ii) provide boundaries for the clean-up,
(iii) provide information for the use of proper protective gear,
(iv) indicate when clean-up is satisfactory.

(b) Individual

Although fire-related hazards are not present in the clean-up phase, protection against PCDFs must be maintained at a high level. Generally, protective gear must lend itself to decontamination or discard.

Reduction in air contamination through an air-cleaning vacuum system will reduce the inhalation hazard and skin contamination from airborne particulates, thus permitting less stringent requirements for breathing apparatus.

3. Medical Attention

Prompt medical attention is essential for any case of exposure to the substances produced in a fire involving electrical equipment. Response crew members should undergo medical examination, if there has been any possibility of exposure.

Decontamination procedures must ensure that no hazardous material remain on the clean-up crew members, and that clothing and equipment has also been cleaned or disposed of.

EQUIPMENT & FACILITIES

These measures aim at the efficient and thorough removal of contaminants.

1. **Soot Removal**

The major location of PCDF contamination is expected to be in soot deposited on surfaces. PCDFs are quite strongly adsorbed by soot, thus removing the soot also removes much of the hazard. Loose soot is best removed by vacuuming with a high-efficiency vacuum cleaner equipped with high-efficiency filtration for the exhausted air. Remaining soot adhering too well to be removed by vacuum, is removed by washing with organic solvents. Water and detergent systems, with mechanical scouring, may also be effective, particularly as a final cleaning step. Washing should be repeated until the surface contamination is reduced to 10 ng/m^2 PCDFs. All cleaning materials and residues must be contained for treatment or disposal.

The curtain-wall technique is effective in permitting the intensive cleaning of small sections of an area without recontaminating the area with debris or contaminants from uncleaned sections. Although installation and use of curtain-walls is expensive in terms of material and time, it does minimize the need to reclean areas.

2. **Inspection**

Ventilation inlets of all buildings in the vicinity of the fire should be closely examined. Should any soot be found at these inlets, it must be analyzed immediately, and appropriate clean-up procedures must be put into effect with respect to all contaminated areas.

ENVIRONMENTAL CONCERNS

These measures aim at preventing the spreading of contamination.

1. Decontamination

Prevention of contamination spread is achievable by maintaining the contaminated area under reduced pressure. Exhausting air through a high-efficiency filtration system maximizes the benefits of decontamination.

Decontaminating workers and cleaning up equipment on site keeps contamination localized.

2. Disposal

Contaminated materials should be stored in labelled and numbered containers. All clean-up materials must be considered contaminated and stored until treated or disposed. This requirement includes clothing and tools; once these are decontaminated, the wash liquids must be treated as contaminated and then stored.

Contaminated materials should be disposed in an approved hazardous-waste disposal facility.

REFERENCES

1. Environment Canada, Preliminary Socio-Economic Impact Analysis for Chlorobiphenyl Draft Regulations. Inventory and Attrition Rate, p. 5, M. M. Dillon Limited, April, 1981.

2. B. Jansson and G. Sundstroem, "Formation of Polychlorinated Dibenzofurans (PCDF) During a Fire Accident in Capacitors Containing Polychlorinated Biphenyls (PCB)", Vol. 5: Chlorinated Dioxins and Related Compounds, p. 201, Pergamon Press (1982).

3. Malarek, Victor, "Workers Not Told Second Chemical Released by Fire", The Globe and Mail (3 February, 1978).

4. Jones, P.A., Environment Canada, Chlorophenols and Their Impurities in the Canadian Environment, Report EPS 3-EC-81-2, March, 1981.

5. Buser, H-R., PCDDs and PCDFs: Formation, Occurrence and Analysis of Environmentally Hazardous Compounds, Doctoral Dissertation, University of Umea, Sweden (1978).

6. Vos, J.G., J.H. Koeman, H.L. Van der Maas, M.C. Noever de Brauw, and R.H. de Vos, Food Cosmet. Toxic., 8, 625 (1970).

7. Moore, J.A., IARC Meeting on PCDDs and PCDFs, Lyon, January 10-11, 1978.

8. Hryhorczuk, D.D., W.A. Withrow, C.S. Hesse and V.R. Beasley, Arch. Environ. Health, 36(5), 228 (1981).

9. Bauer, H., R.H. Schulz and U. Spiegeberg, Arch. Gewerbepath. Gewerbehyg., 18, 538 (1961).

10. Kuratsune, M., T. Yoshimura, J. Matsuzaka and A. Yamaguchi, Environ. Health Perspect., 1, 119 (1972).

11. Buser, H-R., H-P. Bosshardt, C. Rappe and R. Lindahl, Chemosphere, 7(5), 419 (1978).

12. Reference 2, pp. 201-8.

13. Chittim, B., B.S. Clegg, S. Safe and O. Hutzinger, PCDFs and PCDDs: Detection and Quantitation in Electrical Equipment and their Formation During the Incineration of PCBs, Report to Environment Canada, DSS File No. 04SS.KE109-8-6377 (1979).

14. Lustenhouwer, J.W.A., K. Olie and O. Hutzinger, Chemosphere, 9(7/8), 501 (1980).

15. Buser, H-R., Chemosphere, 8(6), 415 (1979).

16. Buser, H-R., and C. Rappe, Chemosphere, 8(3), 157 (1979).

17. Choudhry, G.G. and O. Hutzinger, Toxicol. Environ. Chem., 5, (3-4), 295 (1982).

18. Nagayama, J., M. Kuratsune and Y. Masuda, Fukuoka Igaku Zasshi, 72(4), 136(1981) Chemical Abstracts 95(11):97484h (1981).

19. Buser, H-R., H-P. Bosshardt and C. Rappe, Chemosphere, 7(1), 109 (1978).

20. Nakagawa, J., M. Morita, K. Akiyama, Y. Higuchi and S. Mimura, Tokyo-Toritsu Eisei Kenkyusho Wempo, 28(1), 260(1977). Chem. Abstracts 91(5):39223d.

21. Morita, M., J. Nakagawa and C. Rappe, Bull. Environ. Contam. Toxicol., 19(6), 665 (1978).

22. Weber, I., RTE Corporation, Wisconsin, Personal Communication, March, 1983.

23. American National Standard ANSI/ASTM D2283-75, Standard Specification for Chlorinated Aromatic Hydrocarbons (Askarels) for Transformers.

24. American National Standard ANSI/ASTM D2233-74, Standard Specification for Chlorinated Aromatic Hydrocarbons (Askarels) for Capacitors.

25. Report on Lamp Ballasts Containing PCBs. M.M. Dillon Limited, 31 March, 1983.

26. Proceedings of the PCB Seminar, Scheveningen, Netherlands, Sept. 28-30, 1983.

APPENDIX

TORONTO FIRE - 9 DECEMBER 1977

Introduction

Adelaide Street is located in downtown Toronto. The underground vault housed two transformers: one filled with mineral oil; the other, a 1500-kVA transformer, filled with 1800 litres of askarel and installed in 1965.

The accident occurred at the start of the morning rush hour.

Event

A crack developed in the circuit breaker (2500 A low-voltage); the protective relays could not immediately clear the fault. Arcing occurred across the crack starting a small electrical fire. The crack spread to the porcelain bushing on the transformer causing 450 litres of askarel to leak onto the floor; some of the askarel vapourized across the electrical arc.

Protective relays then opened the primary feeder lines, and low-voltage fuses blew disconnecting the askarel transformer from the mineral oil transformer.

Twenty-two firemen fought the fire: at no time did they enter the vault. They were wearing self-contained breathing apparatus because of volumes of black smoke coming from the vault. Firemen filled the vault with carbon dioxide (CO_2) through the ventilation gratings and extinguished the fire.

Aftermath

Primary feeder lines supplying the mineral oil transformer were opened to de-energize the spot network completely. Toronto Hydro personnel entered the vault and found that the 450 litres of spilled askarel had been contained in a pit around the askarel transformer. Hydro personnel isolated the askarel transformer so that the mineral oil transformer could restore power to an adjacent building. Only then was it known that PCBs were definitely implicated.

An electrical maintenance company, experienced in dealing with askarel, pumped the unspilled askarel out of the transformer and removed the unit.

Some Hydro employees complained of illness after the fire; symptoms included headache, eye discharges and irritation, nausea, vomiting, and skin rashes similar to cold sores on the face and hands.

Twenty-five Hydro employees who went to the fire <u>without</u> proper protective gear and the 22 firemen were tested for PCB levels one week after the fire: no high

levels of PCBs were found. Firemen underwent close scrutiny for six months after the fire: they showed no ill effects.

An experienced clean-up contractor enclosed the vault with sand berms and a barricade. He decontaminated the area by first spraying No. 2 fuel oil and then detergent. Any fixtures in the vault that could not be decontaminated were removed for disposal. All contaminated equipment and clothing from the clean-up contractor, Toronto Hydro personnel, and firemen were collected.

After initial clean-up, the vault was tested for PCBs in air: results showed that PCBs were above 30 $\mu g/m^3$ (Ontario Ministry of the Environment Standards). The vault was re-scrubbed until the PCB levels were below the standard, and cleaning agents were collected.

Soot containing 10 000 ppm PCBs covered a 70 m^2 area adjacent to the fire site. A second contractor was hired to decontaminate the walls of adjacent buildings.

Contaminated water, clothing, equipment that could not be cleaned were disposed at a PCB-secure landfill in Niagara Falls, N.Y.

PCDFs were found in the soot at concentrations of 5 ppm. PCDDs were also detected in test samples of air and soot taken at the fire site in late December.

Costs were estimated at $100 000. They include value of destroyed transformer, labour to replace it; decontamination of vault, building, and surroundings; disposal of contaminated materials.

BINGHAMPTON FIRE - 5 FEBRUARY 1981

Introduction

The Binghampton State Office Building is the central tower of a governmental building complex completed during Spring 1973; it rises 18 storeys (about 90 metres) from street level; it has two subsurface levels.

Thirty-three state agencies employ 700 employees in the building. However, at the time of the fire (05 h 30), only a security guard and a stationary engineer occupied the building.

Event

A loose connection or a piece of dirt possibly caused an electrical failure within the main switching equipment close to an askarel transformer in the mechanical room of the basement. The electrical failure touched off an intensely hot fire; the heat caused a porcelain bushing on the nearby transformer to crack and leak 700 litres of askarel onto the floor. The transformer contains 4000 litres of Pyranol® (65% Aroclor® 1254 and 35% chlorobenzenes).

The fire burned for 45 minutes before the power was shut off; during that time temperature at the centre of the fire had reached 1000°C. The Pyranol® vapourized and contaminated soot and ash. The drastic temperature gradient from the basement to the roof (-20°C) propelled the soot into the fire stairwell and into an airshaft contaminating all 18 storeys of the building.

Firemen waited for the power to be shut off before they started extinguishing the fire. After the power had been shut down and firemen were informed of the presence of Pyranol®, the fire was extinguished by ventilating the area and dousing the flames with water. It took 35 to 40 minutes. Firemen were wearing standard protective gear including Scott Airpaks®, full enclosure poly/canvas jackets and pants, rubber boots, gauntlet gloves.

Aftermath

State fire investigators determined that soot rose from the basement through a door left ajar to prevent pipe freezing; it then distributed through the rest of the building with the aid of a steady stream of air escaping through two roof-top hatches, above the fire stairs, that automatically opened when the fire alarm sounded.

All firemen took a shower immediately after the fire (standard procedure). All equipment and clothing were disposed, but the water used was <u>not</u> contained. One

fireman developed a recurrent rash on his face; two others developed rashy burns after hot fluid had penetrated their protective gear.

Wipe samples of the soot were immediately taken and tested. A 24-hour security system was maintained to control access to the building. A trailer serving as an entry/exit module was set up at the basement loading entrance: it contained entry facilities, lockers, showers, rest rooms, and security offices.

All personnel entering the building were required to wear a full-face respirator (with both activated carbon and high-efficiency particulate filters), and protective clothing that comprised socks, underwear, sneakers, rubber boots, coveralls, an outer Tyvek® protective suit, and both cotton and rubber gloves. Personnel were required to remove all protective gear and shower on exiting the building. Respirators were cleaned; filters replaced; outer suits, gloves and used filters were disposed after use.

A week after the fire, test results indicated that the soot was contaminated with PCDFs, PCDDs, biphenylenes and naphthalenes at concentrations as high as 2.9 ppm of 2,3,7,8-TCDD and 124 ppm of 2,3,7,8-TCDF. The horizontal surfaces of the building were covered with soot contaminated with 162 $\mu g/m^2$ PCBs.

All surfaces contaminated by soot and smoke particles were cleaned initially by a high-efficiency vacuum with vacuum bags approved for use with asbestos and washed with water and an anionic detergent (Triton™ X-100). Clean-up rags were disposed of as soon as they appeared slightly blackened by soot. Exposed areas not easily cleaned (papers, carpets, drapes etc.) were put in plastic bags and stored in the sub-basement of the building.

All water discharged from the building during cleaning was deposited into 55-gallon barrels for treatment and disposal until a carbon filter treatment system, using three plastic above-ground swimming pools, was set up in the basement of the building. The contaminated water was recirculated through the carbon filtration system until it was sufficiently decontaminated (less than 1 $\mu g/L$) to be fit for sending to the city's sanitary sewage treatment plant.

An air-pollution control filtration system was installed to filter the air in the building so that it was clean before discharge from the building. The system created a negative pressure throughout the building to ensure that air flowed from the outside, through the building, and finally through the filters on the roof.

Preliminary cleaning reduced the levels to 1 μg of removable PCB/m^2 on glass and painted surfaces. Cleaning procedures were not successful in decontaminating porous ceramic and vinyl floor surfaces, therefore they had to be removed for disposal. Many

people suspect that the floors could have been cleaned, if the oily soot had not been left to penetrate into the porous surfaces for upwards of 6 months (during which time clean-up and safety procedures were being developed).

Clean-up personnel have been continually monitored with blood tests. No exposure symptoms other than chloracne and "rashes" have been documented. Blood tests were given on a voluntary basis to anyone who thought that he or she was exposed during and after the fire. Results of these tests were inconclusive, and the tests are currently being redone.

The preliminary clean-up required 14 months for completion.

The criterion for completion of preliminary clean-up was the removal of all loose PCDF- and PCDD-contaminated soot from the building to allow opening of the building to normal ventilation; normal ventilation is required in order to use organic-solvent-based cleansers which would further decontaminate the building.

All material that could not be decontaminated was packaged in drums and landfilled at the SECOS-secure landfill at Niagara Falls, New York.

Final clean-up is currently pending a decision by scientific authorities on how clean (i.e. how low do the levels of PCDF and PCDD contamination have to be) the building must be before it can be reopened. Final clean-up will probably include replacement of all vinyl and ceramic floor tiles as they could not be sufficiently cleaned by detergents, and repainting the walls with chemical-resistant paint.

On 31 January 1983 Governor Mario Cuomo of the State of New York stated that $8.6 million had been spent on the Binghampton clean-up thus far and that a further $3 million will be allocated in 1983 to complete the final clean-up.

The target date for reoccupancy is Summer 1985, by which time the costs of the clean-up may equal the original cost of the building ($20 million).

MANITOBA FIRE - 29 MARCH 1982

Introduction

A vault located in the basement of the electrical engineering laboratory of the University of Manitoba in Winnipeg contained six transformers used for both experimental and operational purposes. Transformers were filled with mineral oil.

No one was at the fire site at the time of the fire (early morning).

Event

An electrical failure caused arcing on one transformer and started a fire. The mineral oil ignited and spread fire to others.

Firemen extinguished fire with water; power must not have been shut off, because a transformer exploded spraying oily soot all around the room. Firemen wore standard gear with no specialized chemical gear, because the transformers were supposed to contain only mineral oil.

The entire laboratory was contaminated with soot, and the water was not contained.

Aftermath

The Manitoba Department of the Environment responded to the fire and tested the oil in the damaged transformers and on the walls of the laboratory. The test results indicated that the soot was contaminated with 250 ppm PCBs. No detectable levels of PCDFs were found.

Precautions against PCB contamination were taken during the clean-up. Blood tests were taken.

Contractors were hired to clean up the high-voltage equipment with Keysolve™ and scrub the rest of the laboratory with Varsol™. An exhaust system was set up to remove Varsol™ fumes. Clean-up crews were protected with air-line respirators, rubber gloves and boots, and disposable suits impervious to chemicals.

All contaminated materials that could not be decontaminated were shipped in metal drums for storage at an authorized disposal facility.

DANVIKEN, SWEDEN - AUGUST 1981

Event

Electrical malfunction caused a fire that burned 18 capacitors in a transformer station.

Firemen wore no special protective equipment against PCBs.

Aftermath

- 1 to 3 $\mu g/m^2$ PCDFs in soot
- no PCDDs detected
- chlorinated pyrenes formed

Clean-up: high-efficiency vacuuming followed by washing with detergent.

Exposed personnel were tested by blood-sampling: no elevated PCB or PCDF levels were found. No symptoms of exposure were reported.

All contaminated wastes were stored in drums, pending decision by the Swedish government on disposal.

SKOVDE, SWEDEN - MARCH 1982

Event

An electrical malfunction occurred in a mineral oil capacitor serving a high-frequency oven in a casting line of a Volvo metal treatment factory.

A very hot fire ensued and spread to the capacitors: 12 broke open, 9 remained sealed. The fire burned for two hours before it was finally extinguished. Temperatures were high enough to melt a copper pipe (1100°C).

Firemen were aware of the presence of PCBs and wore protective equipment accordingly, which was disposed afterward.

Aftermath

- up to 900 $\mu g/m^2$ PCDFs
- no PCDDs detected

Clean-up: high-efficiency vacuuming followed by washing with detergent.

Exposed personnel were tested by blood-sampling: no elevated PCB or PCDF levels were found. No symptoms of exposure were reported.

PCDF contamination levels were at <10 ng/m^2 after the clean-up.

All contaminated wastes were stored in drums, pending decision by the Swedish government on disposal.

SURAHAMMAR, SWEDEN - SEPTEMBER 23, 1982

Event

An explosion in a steel kiln caused 10 tonnes of molten steel (1500°C) to spread through the steel mill. The molten steel melted a metal door sealing off the capacitor room.

A fire ensued in the 500 capacitors, 200 of which contained PCBs (ca. 2000 kg).

Firemen attempted to extinguish the fire resulting from the molten steel with water. Explosions resulted. They then decided to let the fire burn itself out.

The building was occupied at the time of the fire, but everyone was evacuated. The heat was very intense, and large amounts of hydrochloric acid were given off by the burning PCBs.

Aftermath

- up to 4 $\mu g/m^2$ TCDF in soot (condenser room)
- no PCDDs detected

Clean-up: high-efficiency vacuuming followed by washing with detergent. The sucked-up soot was treated by carbon filtration; the contaminated carbon was stored in steel drums for future disposal. A movable curtain wall was erected in the steel mill to prevent re-contamination of areas already cleaned.

Clean-up personnel wore disposable protective suits, rubber boots, gloves, and line respirators (air was filtered by a glass-fibre filter before breathing).

Exposed personnel were tested by blood-sampling: no elevated PCB or PCDF levels were found.

Two incidents of skin problems resulting from exposure to hydrochloric acid were reported.

PCDF contamination levels were at <10 ng/m^2 PCDFs after clean-up.

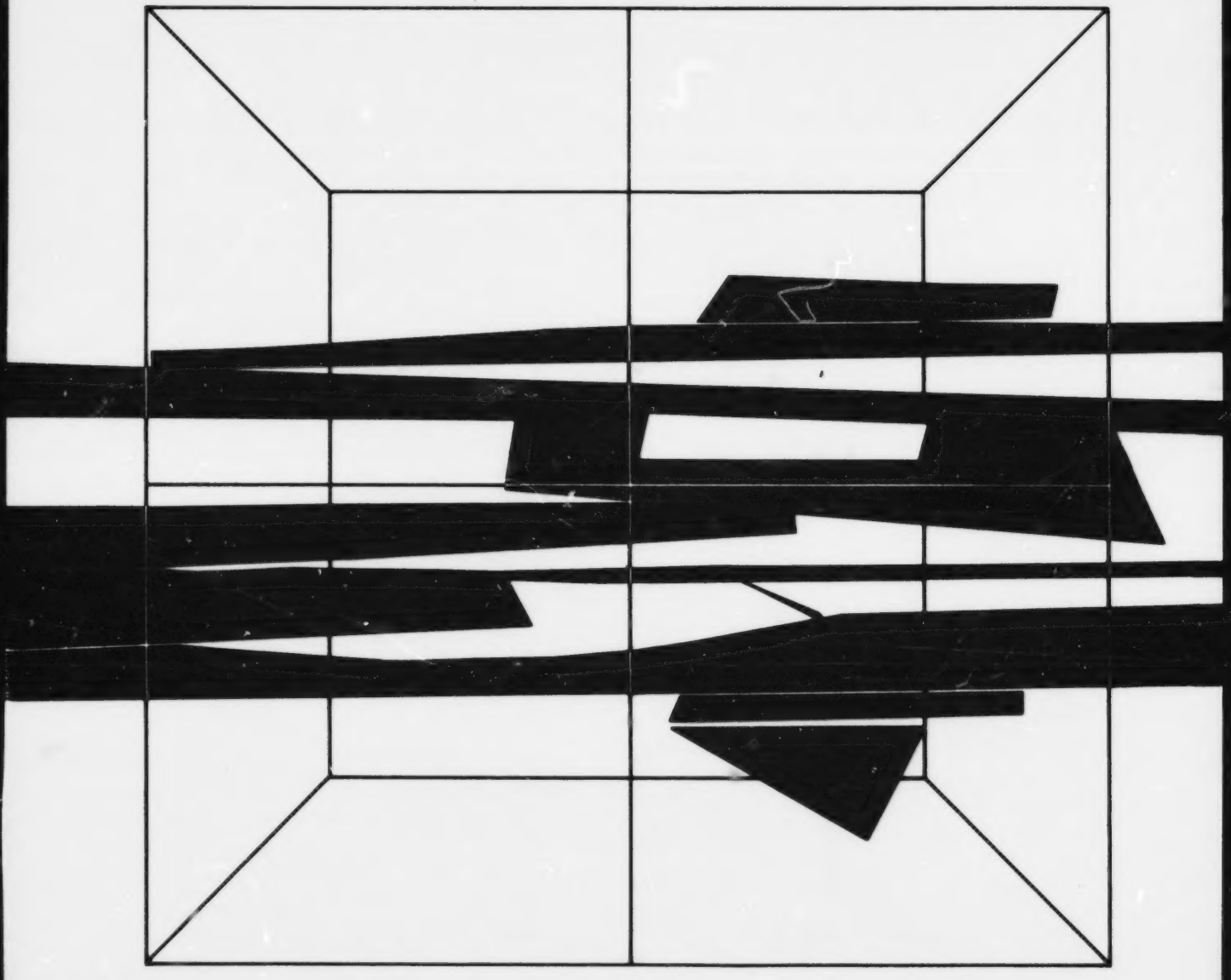
All contaminated wastes were stored in drums, pending decision by the Swedish government on disposal.

Les incendies dans le matériel électrique contenant des PCB: Recommandations visant à empêcher la contamination par les PCDF

Première édition

1885
1985

Rapport SPE 1/CC/2
Mars 1985



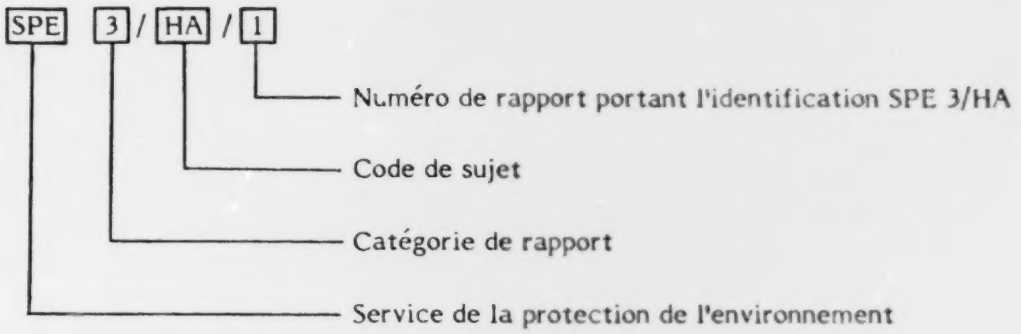
Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement

Environment Canada
Environmental Protection Service

Canada

RAPPORTS DU SERVICE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Exemple de numérotage:



Catégories

1	Règlements/Lignes directrices/ Codes de procédure
2	Consultation publique: évaluation des problèmes, options de contrôle
3	Recherche et développement technologique
4	Revues de la documentation
5	Relevés
6	Évaluations des impacts sur l'environnement
7	Surveillance
8	Propositions, analyses et énoncés de principes généraux
9	Guides

Sujets

AG	Agriculture
AP	Polluants atmosphériques
CC	Produits chimiques commerciaux
CP	Pollution - consommateurs
FP	Traitement des aliments
HA	Déchets dangereux
IC	Chimie inorganique
MA	Pollution marine
MM	Exploitation minière et traitement des minéraux
NR	Régions du Nord
PF	Papier et fibres
PG	Production de l'électricité
PN	Pétrole et gaz naturel
SP	Déversements de pétrole et de produits chimiques
SRM	Méthode de référence normalisée
TS	Systèmes de transport
UP	Pollution urbaine

Sujets et codes additionels sont introduits au besoin. Une liste de rapports du SPE peut être obtenue en s'adressant à la Section des publications, Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) K1A 1C8.

Centenaire des parcs nationaux
1885
1985
National Parks Centennial

1885–1985: 100 ans de conservation du patrimoine
Le premier parc national du Canada a été aménagé en 1885, à Banff en Alberta. Aujourd'hui il y a des parcs nationaux et des parcs historiques nationaux dans chaque province et territoire. Le centenaire des parcs nationaux représente l'occasion de reaffirmer le désir de préserver notre patrimoine au profit de tous les Canadiens.

LES INCENDIES DANS LE MATÉRIEL ÉLECTRIQUE CONTENANT DES PCB: RECOMMANDATIONS VISANT À EMPÊCHER LA CONTAMINATION PAR LES PCDF

Première édition

Préparé par Jean M. Carbonneau

Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement
Direction des produits chimiques commerciaux

Rapport SPE 1/CC/2
Mars 1985

COMMENTAIRES

Communiquer toute observation ou remarque au sujet du présent rapport au:

Directeur
Direction des produits chimiques commerciaux
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1C8

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1985
N° de cat. En 49-2 1-2
ISBN 0-662-53590-1
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ		ii
1	INTRODUCTION	1
1.1	Données de base	1
1.2	Objectifs	2
2	POLYCHLORODIBENZOFURANES (PCDF)	3
2.1	Introduction	3
2.2	PCDF; propriétés	3
2.3	PCDF; formation thermique et pyrolytique	5
2.4	Observations générales et conclusions	10
3	ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE	11
3.1	Information générale	11
3.2	Transformateurs	11
3.3	Condensateurs	12
3.4	Électro-aimants	13
4	ÉTUDES DE CAS	14
4.1	Observations générales	14
4.2	Incendies en Amérique du Nord	15
4.3	Incendies dans les pays scandinaves	15
4.4	Conclusions	15
5	PROPOSITIONS	16
5.1	Généralités	16
5.2	Examen des propositions; mesures préventives	17
5.3	Examen des propositions; mesures pour combattre un incendie	22
5.4	Examen des propositions; mesures pour le nettoyage	25
RÉFÉRENCES		28-29
ANNEXE		31
TABLEAU 1	PROPOSITIONS	iii
FIGURE 1	PCB, PCDD ET PCDF	4

RÉSUMÉ

L'objet de la présente publication est double: sensibiliser davantage les milieux concernés au sujet des incendies d'équipement électrique contenant des polychlorobiphényles (PCB) et proposer des mesures pour empêcher la contamination par les polychlorodibenzofuranes (PCDF).

Il n'y a pas eu jusqu'ici d'exposition humaine aux PCDF seuls. Les PCDF sont habituellement accompagnés de PCB et parfois d'autres contaminants, comme les polychlorodibenzo-p-dioxines (PCDD). Bien que les effets observés chez l'homme ne soient pas seulement attribuables aux PCDF, il est raisonnable de supposer que ces composés, tout comme les PCDD, sont très toxiques non seulement à courte échéance, mais également à long terme. La toxicité des divers PCDF dépend de la position et du degré de chloration; les tétra- et les pentachlorodibenzofuranes sont les plus toxiques.

Il y a formation de PCDF lorsque des PCB ou des polychlorobenzènes (PCBZ), ou les deux, sont chauffés en présence d'oxygène à une température se situant dans l'intervalle 250-700 °C. La température optimale de formation de PCDF se situerait à environ 500 °C. La production de PCDF est catalysée par la présence de certains métaux (par ex. le fer et le cuivre) ou leurs sels. La pyrolyse des PCB diffère de celle des PCBZ par le fait que les PCB ne donnent pas de PCDD.

La consommation la plus forte de PCB encore utilisés au Canada se situe au niveau des transformateurs, qui contiennent en moyenne 1 350 kg de PCB par unité. Comparativement, un condensateur renferme très peu de PCB; cela est surtout le cas des condensateurs enchâssés dans les ballasts de lampes fluorescentes et de lampes à décharge à haute efficacité lumineuse (HID). Mais, contrairement aux transformateurs et aux gros condensateurs installés habituellement dans des endroits isolés, les condensateurs des ballasts de lampes sont situés un peu partout dans les bâtiments, et souvent en grand nombre (car ils font partie intégrante du montage des lampes fluorescentes).

Les incendies d'équipement électrique contenant des PCB sont généralement causés par des défectuosités électriques ou un mauvais fonctionnement de l'équipement. Ces incendies prennent souvent naissance dans l'équipement électrique renfermant de l'huile minérale, pour se propager ensuite dans l'équipement qui contient des PCB. Les incendies impliquant des PCB donnent toujours beaucoup de fumée et de grandes quantités

Tableau 1 Recommandations

	Mesures préventives	Mesures de lutte contre les incendies	Mesures pour le nettoyage
Santé et sécurité des personnes	Information et formation Identification de l'équipement Moyens de protection Plan d'intervention d'urgence	Conscience de la présence de PCB Vêtements protecteurs adéquats Secours médicaux Évacuation des lieux	Information Mesures de protection: des lieux; des personnes Secours médicaux
Équipement et installations	Programmes - exploitation - entretien/ inspection Systèmes de sécurité Gestion des PCB	Stratégies de lutte contre les incendies Produits pour combattre les incendies	Élimination de la suie Inspection
Protection de l'environnement	Confinement: - des liquides contenus dans les pièces d'équipement - des contaminants		Décontamination Élimination

de suie noire et huileuse. Celle-ci est contaminée par des PCB, des PCDF et, s'il y a présence de chlorobenzènes, par des PCDD. Il y a adhérence des PCB et des PCDF à la suie. L'analyse de cette dernière montre qu'environ 1 p. 100 des PCB est converti en PCDF. Il n'y a pas eu formation de PCDD lors d'incendies de condensateurs renfermant des PCB. Par contre, des transformateurs en feu qui contenaient des PCB ont dégagé des PCDD. Ces transformateurs aux PCB ont produit 1 partie de PCDD pour 10 parties de PCDF.

L'ensemble de recommandations vise précisément à empêcher la contamination par les PCDF provenant d'équipement électrique en feu, et constitue une base utile pour la recherche de mesures efficaces permettant de surmonter ce problème.

1 INTRODUCTION

1.1 Données de base

Les polychlorobiphényles (PCB) produisent dans certaines conditions des polychlorodibenzofuranes (PCDF); ces derniers sont plus toxiques que les PCB.

Environnement Canada estime qu'environ 15 millions de kg de PCB sont encore utilisés au Canada comme liquide diélectrique pour équipement électrique, particulièrement dans les transformateurs et les condensateurs(1). La majeure partie du matériel renfermant des PCB se trouve à l'intérieur ou à proximité des bâtiments.

L'équipement électrique qui contient des PCB génère, lorsqu'il y a incendie, des conditions physico-chimiques favorisant la formation de quantités non négligeables de PCDF à partir des PCB(2, 3).

Un groupe de travail formé par un comité interministériel pour les produits chimiques dangereux (l'ICTC), chargé de mettre au point une stratégie de gestion des dioxines et des dibenzofuranes, a préparé un rapport provisoire (ICTC - Rapport nº 1) en août 1982. L'une des propositions contenues dans ce rapport était la suivante: "Établir des lignes directrices pour empêcher une contamination grave par des PCDF provenant d'un incendie accidentel d'équipement électrique renfermant des PCB."

C'est la Direction des produits chimiques commerciaux du Service de la protection de l'environnement, d'Environnement Canada, qui fut chargée de préparer ces lignes directrices.

Les services de M. M. Dillon Limited (société d'ingénieurs et de planificateurs-conseils) et de Wellington Environmental Consultants furent retenus pour effectuer une étude, sous la supervision de la Direction des produits chimiques commerciaux, dans le sens de la proposition du groupe de travail de l'ICTC.

Dix cas d'incendie d'équipement électrique aux PCB, échelonnés de 1977 à 1982, furent examinés. Ces incendies s'étaient produits dans quatre pays: deux au Canada, un aux États-Unis, cinq en Suède et deux en Finlande.

Les propositions présentées dans le cadre de ce rapport visaient à limiter la formation de PCDF dans l'équipement électrique et à empêcher l'exposition humaine à ces produits chimiques en cas d'incendie.

Comme il était indispensable, pour l'élaboration de ces lignes directrices, de bien connaître les propriétés des PCDF et des conditions dans lesquelles ils se forment, une enquête par ordinateur fut entreprise à l'aide du système de données DIALOG^{MD} de

Lockheed. Des recherches documentaires furent effectuées, couvrant la période de 1967 à 1983.

Les articles pertinents furent recueillis. Les données obtenues sont examinées dans les chapitres qui suivent. Pour des renseignements plus détaillés sur les PCDF, en ce qui concerne leur chimie, leurs effets biotoxicologiques et leur fréquence comme contaminants dans les produits chimiques industriels, le lecteur pourra consulter les publications suivantes:

Jones, P.A., *Les chlorophénols et leurs impuretés dans l'environnement canadien*, Service de la protection de l'environnement, rapport SPE 3-EC-81-2 (mars 1981).

Chittim, B., B.S. Clegg, S. Safe et O. Hutzinger, *PCDFs and PCDDs: Detection and Quantification in Electrical Equipment and Their Formation During the Incineration of PCBs*, Wellington Science Associates, préparé pour Environnement Canada, contrat nº 05578-00067 (1979).

Mitchell, M.F., H.A. McLeod et J.R. Roberts, *Les polychlorodibenzofuranes: critères concernant leurs effets sur l'homme et sur l'environnement*, Conseil national de recherche du Canada, rapport nº 22846 (1984).

1.2 Objectifs

L'objet de la présente publication est double: sensibiliser davantage les milieux concernés à la question des incendies d'équipement électrique contenant des polychlorobiphényles (PCB) et proposer des mesures pour empêcher la contamination par les polychlorodibenzofuranes (PCDF).

Plus précisément, les propositions concernent les conditions avant, pendant et après l'incendie. Ces propositions portent sur la santé et la sécurité des personnes, l'équipement et les installations, ainsi que la protection de l'environnement.

Les propositions se restreignent à la contamination par les PCDF. On sait qu'il se forme des PCDD et d'autres contaminants pendant certains incendies à l'intérieur ou près de l'équipement électrique, mais le présent rapport ne portera pas sur ces composés. Il ne sera fait qu'accidentellement mention des PCDD dans le présent rapport.

2 POLYCHLORODIBENZOFURANES (PCDF)

2.1 Introduction

Les polychlorodibenzofuranes (PCDF) ont fortement attiré l'attention ces dernières années, en raison de leur caractère très toxique et de leur présence comme contaminants dans des produits chimiques industriels répandus, comme les chlorophénols (CP). De plus, ils peuvent être formés à chaud et par pyrolyse à partir des CP, des polychlorobiphényles (PCB) et des polychlorobenzènes (PCBZ). Voilà pourquoi on en trouve dans les cendres volantes libérées par les incinérateurs municipaux.

Au Canada, l'équipement électrique en service (chap. 3), comme l'équipement hors d'usage stocké en vue d'être éliminé, renferme des quantités considérables de PCB et de PCBZ. D'autres liquides remplaçant les PCB dans ce type d'équipement pourraient à leur tour être contaminés par les PCB (et les PCBZ).

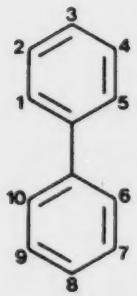
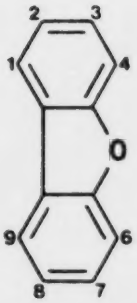
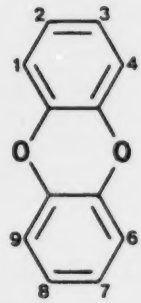
Un incendie touchant des appareils contenant des PCB et des PCBZ peut provoquer la formation de PCDF. Des défectuosités au niveau de l'équipement (par ex. formation d'arc électrique) peuvent également conduire à la formation de PCDF.

2.2 PCDF; propriétés

2.2.1 Propriétés physiques et chimiques. - Les PCDF sont une série de composés aromatiques tricycliques chlorés possédant la même structure de base. Comme le montre la figure 1, leur configuration ressemble beaucoup à celle d'une autre série de composés, les polychlorodibenzo-p-dioxines (PCDD); il a été prouvé que les propriétés de ces deux groupes peuvent être souvent, sinon toujours, mises en parallèle.

Comme le montre la figure 1, les substitutions par un à huit atome(s) de chlore permettent d'obtenir 135 PCDF. Ils sont tous des solides cristallisés à la température ambiante, leur point de fusion variant d'environ 100 à 250 °C. À la température et à la pression normales, leur pression de vapeur est négligeable(4, 5). Tout comme les PCB et les PCDD, les PCDF sont presque insolubles dans l'eau et très peu solubles dans la plupart des solvants organiques. La solubilité des PCDF augmente généralement avec la teneur en chlore(4).

2.2.2 Propriétés biologiques et caractère toxique. - Les PCDF se comportent dans l'environnement comme la plupart des composés aromatiques halogénés; ils sont très stables et ils ont tendance à persister et à s'accumuler dans les tissus adipeux. Bien que

	Polychloro-biphényles	Polychloro-dibenzofuranes	Polychloro-dibenzodioxines
Configuration moléculaire & numérotation			

		PCB	PCDF	PCDD
Nombre d'isomères	Mono	3 (3)*	4	2
	Di-	12 (10)	16	10
	Tri-	24 (17)	28	14
	Tétra-	42 (27)	38	22
	Penta-	46 (22)	28	14
	Hexa-	42 (26)	16	10
	Hepta-	24 (18)	4	2
	Octo-	12 (9)	1	1
	Nona-	3 (1)	-	-
	Déca-	1 (1)	-	-
	TOTAL	209 (134)	135	75

*Les valeurs entre parenthèses représentent le nombre d'isomères décelés dans les formulations techniques.

FIGURE 1 PCB, PCDF, ET PCDD

très peu de rapports traitent de leurs propriétés écocinétiques, il est généralement admis que le déplacement des PCDF dans les systèmes aquatiques et dans l'air se fait principalement par absorption sur des particules(4).

La découverte de la contamination des PCB par les PCDF est largement attribuable à la toxicité de certains des isomères de PCDF. Des recherches antérieures ont montré que certaines fractions de PCB étaient beaucoup plus toxiques vis-à-vis des poulets que d'autres, et que ces fractions renfermaient des PCDF(6).

La toxicité de chaque PCDF considéré individuellement est étroitement reliée à la position des atomes de chlore et au degré de chloration. Les tétra- et pentachlorodibenzofuranes sont les plus toxiques, particulièrement les 2,3,7,8-tétra, 1,2,3,7,8-penta et 2,3,4,7,8-pentachlorodibenzofuranes(7). Les études montrent que la DL50 orale pour le 2,3,7,8-TCDF chez la plupart des espèces animales est de quelques microgrammes par kilogramme(8, 9). Les rapports ne font pas état d'une exposition humaine aux PCDF seuls, mais uniquement de quelques incidents où il y avait présence, entre autres, de ces composés.

Au Japon, plus de 1 000 personnes consommèrent de l'huile de riz contaminée par les PCB(10). On a ultérieurement émis l'hypothèse que les symptômes toxiques observés étaient dus en partie à la contamination des PCB par les PCDF. De plus, l'exposition aux PCDD et aux PCDF a été signalée dans le cas d'apparition de tumeurs malignes chez des personnes chargées de la pulvérisation de produits chimiques, et ainsi exposées à des herbicides à base d'acide phénoxy dans les années 1950 et 1960 en Suède(11).

Bien que les effets observés chez l'homme ne puissent être attribués aux PCDF seuls, il est raisonnable de supposer que ces composés, tout comme les PCDD, sont très toxiques non seulement à courte échéance, mais également à long terme.

2.3 PCDF; formation thermique et pyrolytique

2.3.1 Données de base. - Les PCDF sont présents comme contaminants dans des produits chimiques tels que les chlorophénols (CP) et les herbicides à base d'acide phénoxy. Fait important, les PCDF ont également été décelés comme contaminants dans les PCB et les askarels (nom donné aux mélanges de PCB et de PCBZ), et ils existent déjà dans ces liquides avant même leur utilisation. Les teneurs totales en PCDF mesurées de ces produits "neufs" varient de 0,1 à 33 ppm(12).

Les teneurs en PCDF sont plus élevées dans les liquides usés à base de PCB. Par exemple, les PCB utilisés comme milieu de transfert thermique contenaient jusqu'à

500 ppm de PCDF(12). Les teneurs en 2,3,7,8-TCDF dans des transformateurs contenant de l'askarel étaient elles aussi plus élevées dans les appareils qui servaient depuis longtemps(13).

Il y a donc probablement présence de PCDF dans l'équipement électrique contenant des PCB (et des PCBZ), en service. Dans des conditions de service difficiles, par exemple un incendie, on peut retrouver des teneurs en PCDF beaucoup plus élevées dans l'équipement. Des recherches ont été effectuées en laboratoire pour déterminer les conditions dans lesquelles il y a formation thermique et pyrolytique de PCDF à partir de leurs précurseurs, les PCB et les PCBZ.

2.3.2 Pyrolyse des chlorobenzènes. - Les askarels de qualité transformateur renferment de 30 à 40 p. 100 (poids/poids) de chlorobenzènes; les 60 à 70 p. 100 restants sont des PCB (Aroclor^{MD} 1254 ou 1260). Les chlorobenzènes utilisés sont des mélanges de trichlorobenzènes (principalement les isomères 1,2,4- et 1,2,3-) et de tétrachlorobenzènes (principalement l'isomère 1,2,3,4-).

Des études de la pyrolyse des PCBZ ont montré qu'en présence d'oxygène il y avait formation de composés aromatiques oxygénés (PCDD et PCDF), alors qu'en l'absence d'oxygène (par ex. sous atmosphère d'azote) on obtenait des produits aromatiques exempts d'oxygène(14, 15).

En 1979, Buser(15) a signalé la formation de PCDF (et de PCDD) par pyrolyse de chlorobenzènes. Au cours de ces travaux, des échantillons individuels et combinés de tri-, tétra- et pentachlorobenzènes furent soumis à une pyrolyse dans l'air à 620 °C dans des ampoules en quartz. Les principaux produits du mélange résultant étaient des chlorobenzènes, la décomposition des chlorobenzènes inférieurs étant beaucoup plus considérable que celle des chlorobenzènes supérieurs; plus précisément, 95 p. 100 au moins pour les trichlorobenzènes, environ 90 p. 100 pour les tétrachlorobenzènes et environ 50 p. 100 pour les pentachlorobenzènes dans l'échantillon combiné. Parmi les autres produits de la pyrolyse, on peut citer les suivants: PCDF, PCDD, PCB, CP, polychloronaphtalènes (PCN) et polychlorostyrènes (PCS).

Ainsi, il y a eu formation de quantités non négligeables (jusqu'à 10 p. 100 de rendement) de PCDF au cours de la pyrolyse. Généralement, les PCDF formés renfermaient 2m-2, 2m-1 et 2m atomes de chlore, m représentant le nombre d'atomes de chlore du chlorobenzène employé; par exemple, la pyrolyse des trichlorobenzènes conduisait à la formation de tétra-, de penta-, et d'hexachlorodibenzofuranes.

Selon Buser, la formation thermochimique des PCDF (et des PCDD) à partir des PCBZ est bimoléculaire et, par conséquent, fonction de la teneur en PCBZ. Toujours d'après Buser, les CP (présents dans tous les échantillons soumis à la pyrolyse) constituent des produits intermédiaires dans la formation des PCDF. Il est possible qu'une réaction des CP avec les PCBZ donne des polychlorodiphényléthers (PCDPE) qui conduisent, on le sait, par pyrolyse, aux PCDF.

2.3.3 Chauffage; pyrolyse des PCB. - Le chauffage des PCB à une température suffisamment élevée entraîne la formation de PCDF. Buser et ses collègues(16) ont décelé des teneurs élevées en PCDF (de l'ordre de quelques ppm) non seulement dans un mélange de PCB du commerce, chauffé à 300 °C pendant une semaine en présence d'air, mais également dans un mélange de PCB employé dans un système d'échange thermique.

Depuis, plusieurs groupes ont étudié en laboratoire la formation, par pyrolyse/chauffage, des PCDF à partir de PCB, de façon à déterminer les mécanismes responsables, les réactifs supplémentaires nécessaires, et les catalyseurs qui pourraient favoriser la formation de ces composés.

2.3.3.1 Mécanismes. - En 1979, Buser et Rappe(16) ont étudié la pyrolyse de 18 PCB; ils ont observé que la formation de PCDF pendant les réactions résultait d'un processus de cyclisation intramoléculaire. Ils ont trouvé que la formation des PCDF à partir des PCB se faisait selon l'un ou plusieurs des modes réactionnels suivants: a) perte de Cl_2 en ortho; b) perte de HCl, avec ou sans déplacement 2-3 de chlore; c) perte de HCl en ortho; d) perte de H_2 en ortho.

Un autre mécanisme pour expliquer la formation de PCDF par pyrolyse des PCB a été proposé dans le cadre d'une étude sur des composés organiques présents à l'état de traces dans les cendres volantes provenant d'incinérateurs municipaux et industriels. D'après Choudhry et Hutzinger(17), la réaction se fait selon le mécanisme suivant:

a) Au départ, formation de radicaux chlorodiphényles à partir des PCB, soit par élimination d'hydrogène en ortho par des radicaux libres, soit par coupure d'une liaison C-Cl en ortho;
b) Réaction de ces radicaux diphényles avec O_2 pour former des radicaux peroxydes, lesquels à leur tour donnent des ortho-hydroxychlorobiphényles;
c) Enfin, cyclisation de ces chlorobiphényles pour former les PCDF.

2.3.3.2 Température. - La pyrolyse des PCB a été effectuée en laboratoire à des températures variant de 200 °C(18) à 850 °C(19). Il y a cependant des écarts en ce qui concerne l'effet de la température sur la quantité de PCDF formés. Les températures optimales de formation des PCDF observées au cours de deux études distinctes étaient de 500 °C(20) et de 550 °C(18), alors que dans une troisième étude(21) les chercheurs ont observé que les PCDF commençaient à se décomposer à 330 °C.

D'après Morita et ses collègues(21), la température minimale pour la formation de PCDF est de 270 °C. Dans leur article, les mêmes auteurs ont estimé que les teneurs en PCDF obtenues étaient fonction d'un équilibre transitoire entre la formation thermique et la décomposition.

Buser et coll.(19) ont étudié la pyrolyse de deux hexachlorobiphényles à des températures variant de 550 °C à 850 °C. Il y avait formation de PCDF de 550 °C à 650 °C. Cependant, à 700 °C et au-dessus les PCDF étaient complètement détruits.

2.3.3.3 Temps. - Une seule étude portait sur l'effet du temps dans la formation par pyrolyse des PCDF à partir des PCB(21). Les auteurs ont constaté qu'à 300 °C la quantité de PCDF atteignait un maximum à 7 jours avec O_2, et à 14 jours avec l'air, pour décroître graduellement par la suite.

2.3.3.4 Atmosphère. - La configuration des PCB et des PCDF nécessite une source d'oxygène pour leur conversion. Cela fut confirmé par une étude dans laquelle on effectuait la pyrolyse de PCB sous des atmosphères d'oxygène, d'air et d'azote(21). Le rendement de la formation de PCDF était assez élevé en présence d'oxygène, beaucoup moindre (environ un dixième par rapport à O_2) avec l'air, et très faible, sinon nul, en présence d'azote. (La formation de PCDF était due à l'oxygène, à l'eau, ou à quelque autre contaminant oxygéné présent dans l'azote.)

2.3.3.5 Catalyse. - L'addition de poudre(20) de Cu-Fe, de Fe(18) ou de $FeCl_3$(20) augmentait la quantité de PCDF formés au cours de la pyrolyse des PCB. Les réactions sont probablement semblables à celles de type Ullman(17) avec présence de catalyseur, auquel cas de nombreux autres métaux pourraient également catalyser la réaction.

2.3.4 Pyrolyse des askarels. - Comme cela a été mentionné, les askarels sont des mélanges de PCBZ et de PCB. La pyrolyse de ces mélanges donne donc probablement des PCDF et des PCDD (ces dernières à partir des PCBZ). À notre connaissance, une seule étude a porté sur la pyrolyse en laboratoire des askarels(13). Dans cette étude, des échantillons d'Aroclors^{MD} 1254 et 1016, ainsi que des askarels Pyranol^{MD}, Inerteen^{MD} et Chlorextol^{MD} furent soumis à une pyrolyse dans l'air à 500 °C. Les produits de la pyrolyse furent analysés qualitativement pour les PCDF, et quantitativement pour les tétrachlorodibenzofuranes (TCDF).

Tous les askarels donnaient de grandes quantités de TCDF (40 à 500 microgrammes de TCDF par gramme de produit de départ), tout comme l'Aroclor^{MD} 1254. Par contre, l'Aroclor^{MD} 1016 en a produit des quantités beaucoup plus faibles. Cet écart est probablement dû à la teneur moindre en chlore des PCB de l'Aroclor^{MD} 1016; autrement dit, au faible contenu en penta- et hexachlorobiphényles. Il fut impossible de déceler des PCDD, probablement parce que la quantité formée était très faible et qu'elle se trouvait masquée par les fortes teneurs en PCDF.

2.3.5 Pyrolyse d'huiles minérales contaminées par les PCB. - Jusqu'ici aucun rapport n'a été publié, traitant de recherches sur le chauffage ou la combustion d'huile de quelque type que ce soit, contaminée par les PCB, ou de l'analyse des produits formés. Les huiles minérales (aussi appelées naphténiques ou blanches) utilisées comme diélectriques sont des mélanges d'hydrocarbures(22) paraffiniques (environ 70 p. 100) et aromatiques (environ 30 p. 100). Ces huiles sont souvent contaminées par des PCB, dont la teneur dépasse fréquemment 50 ppm (voir section 3).

Il est difficile de prévoir les quantités de PCDF qui pourraient se former à la suite d'un incendie impliquant ces huiles. Si on suppose 1 p. 100 de conversion des PCB en PCDF, un transformateur de 1 000 litres, chargé d'huile minérale contenant 100 ppm de PCB, produirait 1 ppm de PCDF, soit en tout 1 gramme de ces composés.

La conversion de PCB en PCDF pourrait cependant être plus élevée ou moins élevée. Par exemple, la température atteinte dans un incendie où il y a présence d'huile minérale pourrait être assez élevée pour que tous les PCB et les PCDF soient détruits. En revanche, l'huile minérale pourrait agir comme un combustible alimentant l'incendie pendant un temps assez long, et produire éventuellement davantage de PCDF. (Les PCB et les askarels, contrairement aux huiles minérales, étoufferaient le feu.)

Il est possible que les constituants de l'huile minérale interviennent chimiquement dans la conversion des PCB en PCDF, selon le mécanisme de réaction proposé par Choudhry et Hutzinger(17) (voir 2.3.3.1). Voilà un domaine qui devrait faire l'objet de recherches approfondies.

2.4 Observations générales et conclusions

La présente recherche sur les études en laboratoire permet de tirer plusieurs conclusions en ce qui concerne la formation thermique-pyrolytique des PCDF:

a) Il y a formation de PCDF lorsque des PCB, des PCBZ ou les deux sont chauffés en présence d'oxygène à une température supérieure à environ 250 °C, mais inférieure à environ 700 °C;

b) La température optimale pour la formation de PCDF est d'environ 500 °C, mais certains rapports font état de températures inférieures à celle-ci;

c) Il faut la présence d'oxygène (O_2 pur, air ou même d'autres composés oxygénés). Le rendement de PCDF est fonction de la quantité d'oxygène présente;

d) La formation de PCDF est catalysée par la présence de certains métaux (par ex. fer ou cuivre) ou de leurs sels;

e) Certains rapports donnent les rendements de PCDF en pour cent (soit 1 p. 100 ou plus) dans le cas de la pyrolyse de PCB, de PCBZ et d'askarels;

f) Au cours de la pyrolyse de PCBZ, il y a formation de PCDD en plus de PCDF.

Même si le nombre de variables est tellement élevé qu'il devient difficile de prévoir de façon précise la quantité de PCDF produite au cours d'un incendie, il ne faudra jamais négliger la formation de ces composés.

3 ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE

3.1 Information générale

Des diélectriques liquides (isolants) résistants au feu, connus sous le terme générique d'askarels, sont utilisés dans l'équipement électrique au Canada depuis le début des années 1930. Les askarels de qualité transformateur sont constitués de polychlorobiphényles (PCB), généralement mélangés à des polychlorobenzènes (PCBZ) en proportions variables(23). Les askarels de qualité transformateur les plus courants, utilisés au Canada, renferment de 60 à 70 p. 100 de PCB et de 30 à 40 p. 100 de PCBZ. Les askarels de qualité condensateur (ASTM Types 2233A, B et D) ne contiennent pas de PCBZ, mais seulement des PCB(24).

La principale raison de l'emploi d'un équipement à askarel à l'intérieur des bâtiments, de préférence à l'équipement à huile minérale, est la plus grande résistance au feu de l'askarel. Enfin, les principales raisons pour l'utilisation de l'équipement à askarel à l'intérieur des bâtiments, de préférence à l'équipement de type sec avec refroidissement à air, sont les suivantes:

a) Force diélectrique supérieure;
b) Meilleur rendement dans les endroits où l'atmosphère ambiante est fortement polluée par la poussière, la saleté ou les fumées corrosives;
c) Meilleur rendement dans les endroits où l'atmosphère ambiante est très humide;
d) Meilleur rendement dans les endroits où les risques de surtension due à la foudre sont extrêmement élevés.

3.2 Transformateurs

Les transformateurs qui présentent un risque de contamination par les PCDF se classent en deux catégories:

a) Les transformateurs qui utilisent l'askarel comme diélectrique et milieu de refroidissement;
b) Les transformateurs qui utilisent l'huile minérale comme diélectrique et comme milieu de refroidissement, mais qui renferment aussi des PCB par suite d'une contamination accidentelle de l'huile minérale.

Les transformateurs à askarel constituent des appareils scellés, munis de soupapes de décompression. Celles-ci sont généralement réglées pour une pression de réservoir de l'ordre de 50 à 70 kPa. Les réservoirs peuvent se déformer lorsque la pression dépasse 70 kPa, et se fissurer au-dessus de 175 kPa.

La gamme type de transformateurs à askarel s'étend de 300 kVA à 5 000 kVA; un transformateur renferme en moyenne 1 400 kg de PCB.

L'askarel n'alimente ou n'entretient la combustion qu'une fois son point d'ébullition (environ 205 °C) atteint. Sa force diélectrique est élevée, dépassant celle de l'huile minérale.

Des défauts internes avec formation d'arc peuvent créer des conditions favorables à l'apparition de PCDF. En ce qui concerne le risque de formation de PCDF, on a considéré dans les bobinages de transformateurs les deux types de défauts qui suivent.

Dans le cas d'un court-circuit à l'intérieur du transformateur, le réservoir doit demeurer intact et être mis hors circuit par le disjoncteur primaire ou un système coupe-circuit. La vitesse à laquelle le transformateur sera mis hors circuit est fonction de l'intensité du courant de défaut et de la vitesse de fonctionnement du mécanisme de protection.

Un défaut de haute impédance, en "escalade", accompagné de la formation d'un arc, est plus grave. Ce type de défaut avec formation d'un arc peut, pendant un temps prolongé, augmenter l'intensité du courant, accroître la température de l'askarel, et hausser la pression du réservoir jusqu'à un niveau dangereux. Cela peut entraîner l'ouverture de la soupape de décompression, et l'expulsion d'askarel et de gaz hors du réservoir.

3.3 Condensateurs

Les condensateurs à askarel servent aux applications suivantes:

a) Correction du facteur de puissance et régulation de la tension sur les lignes à haute tension et dans les postes de transformation;

b) Correction du facteur de puissance dans les systèmes de distribution de la puissance à l'intérieur des bâtiments;

c) Ballasts des lampes fluorescentes et des lampes à décharge à haute efficacité lumineuse (HID).

Des condensateurs aux PCB ont été fabriqués depuis les années 1930 jusqu'en 1979; par la suite, il devint impossible de se procurer de l'askarel.

Tous les condensateurs à askarel sont scellés dans des enceintes métalliques. Pour qu'il y ait libération de l'askarel, il faut que ces dernières se fissurent.

Un défaut dans l'isolant à l'intérieur d'un condensateur pourrait provoquer la formation de points chauds à l'intérieur de celui-ci; il se formerait alors des PCDF sans qu'il y ait fissuration de l'enceinte du condensateur.

Les condensateurs de régulation de tension et de correction du facteur de puissance pour lignes à haute tension sont généralement installés à l'extérieur, sur des poteaux ou d'autres structures, ainsi que dans des postes de transformation, situés eux-mêmes à l'extérieur.

Les systèmes de distribution de puissance à l'intérieur des bâtiments peuvent renfermer des condensateurs de correction du facteur de puissance, situés au niveau: du panneau secondaire principal de commande; des centres de commande des moteurs; ou des moteurs électriques individuels. Les risques sont comparables à ceux que l'on retrouve dans le cas de petits transformateurs à askarel.

Les condensateurs utilisés pour la correction du facteur de puissance sont installés soit à l'extérieur, soit à l'intérieur, dans des endroits isolés. Par contre, les condensateurs utilisés dans les ballasts de lampes sont installés un peu partout dans les bâtiments, où ils font partie des systèmes d'éclairage par fluorescence ou HID. Dans un bâtiment de grande taille, le système d'éclairage peut comprendre plusieurs milliers de condensateurs aux PCB, enfermés dans les ballasts de lampes. Ces derniers présentent donc des risques beaucoup plus grands que les condensateurs de correction du facteur de puissance, et cela en dépit du fait qu'un seul ballast de lampe renferme une quantité relativement faible de PCB(25).

3.4 Électro-aimants

On trouve des électro-aimants dans certaines usines, sur des chantiers de ferraille et autres rejets, ainsi que dans des systèmes de convoyage de minéraux. La quantité de PCB que contiennent ces électro-aimants est considérée comme relativement petite par rapport à celle que renferment les transformateurs et les condensateurs. Le facteur de risque est cependant comparable à celui que représentent les transformateurs à askarel de petite taille.

4 ÉTUDES DE CAS

Tous les faits, interventions, etc., sont examinés relativement à la situation avant et pendant l'incendie, et par rapport aux conditions dans lesquelles s'est effectué le nettoyage après l'incendie. L'annexe donne des renseignements plus détaillés.

4.1 Observations générales

Les incendies d'origine électrique dans les transformateurs et les condensateurs sont, depuis toujours, très fréquents. Toronto Hydro fait état d'une moyenne d'un incendie de transformateur par année. Dans un seul de ces incendies, le transformateur contenait des PCB.

Seuls quelques rares documents examinent de plus près des cas d'incendie impliquant des PCB. Pour expliquer cela, plusieurs hypothèses ont été avancées:

a) Les PCB ne brûlent pas facilement;

b) Avant l'incendie de 1981 à Binghampton (New York), on n'avait pas vraiment compris que les PCB et leurs produits de combustion présentaient un grave danger dans des incendies d'origine électrique;

c) Les compagnies où il y a eu de petits incendies impliquant des PCB ne les signalent probablement pas toujours pour éviter des travaux de nettoyage très coûteux, et pour ne pas provoquer l'inquiétude du public au sujet des accidents qui mettent en cause des PCB.

Aux États-Unis, les incendies impliquant des PCB sont fréquents, mais aucun, à l'exception de celui de Binghampton, n'a fait l'objet d'une étude ou d'analyses en profondeur. La majeure partie des incendies où il y a présence de PCB ne font pas l'objet d'analyses relatives aux PCDF, car on n'est pas encore assez sensibilisé aux dangers que présentent les PCDF.

Tous les incendies de transformateurs en Amérique du Nord, sur lesquels il existe un rapport, ont été causés par un mauvais fonctionnement du système électrique. Tous ces cas présentaient les mêmes caractéristiques: de très petites flammes, accompagnées d'une grande quantité de chaleur, et dégagement d'une fumée noire, épaisse, laissant des résidus de suie noire et huileuse.

Tous les incidents dont parlent les rapports de pays scandinaves mettent en cause des condensateurs aux PCB. Tous ces incendies, sauf un, étaient causés par un mauvais fonctionnement du système électrique à l'intérieur du condensateur. Dans chaque

cas, la suie était contaminée par des PCDF, mais non par des PCDD. Le fait qu'il ne se forme pas de PCDD a été expliqué par l'absence de chlorobenzènes dans ces condensateurs.

4.2 Incendies en Amérique du Nord

Trois cas d'incendie d'équipement électrique contaminé par des PCB, en Amérique du Nord, ont été étudiés: incendie de Toronto, 9 décembre 1977; incendie de Binghampton, 5 février 1981; incendie du Manitoba, 29 mars 1982.

4.3 Incendies dans les pays scandinaves

Sept incendies ou explosions avec présence de PCB se sont produits en Suède et en Finlande depuis 1977. Ces incendies sont, par ordre chronologique, les suivants: Norrtalje, Suède*, juin 1977; Danviken, Suède, août 1981; Skovde, Suède, mars 1982; Imatra, Finlande*, août 1982; Helsinki, Finlande*, août 1982; Surahammar, Suède, septembre 1982; Hallstahammar, Suède*, novembre 1982.

4.4 Conclusions

Les études de cas examinées dans le présent rapport montrent des caractéristiques types d'incendies électriques dans des transformateurs ou des condensateurs aux PCB.

Les incendies sont rarement, sinon jamais, causés par les PCB eux-mêmes. Les PCB liquides se trouvent généralement exposés à un feu causé par un mauvais fonctionnement du système électrique ou par l'inflammation d'une huile minérale. Les incendies où il y a des PCB produisent beaucoup de fumée et donnent de grandes quantités de suie noire et huileuse. Cette dernière est contaminée par des PCB, des PCDF et, s'il y a présence de chlorobenzènes, par des PCDD.

Les essais ont montré qu'il n'y avait pas volatilisation de PCB ni de PCDF à partir de la suie. Dans toutes ces études de cas, des analyses ont été effectuées pour déterminer la quantité de PCDF formés pendant l'incendie, en fonction de la quantité de PCB présents. Environ 1 p. 100 des PCB est transformé en PCDF, et il se forme 10 fois plus de PCDF que de PCDD.

---

*Les détails ne sont pas connus.

5 RECOMMANDATIONS

5.1 Généralités

Les recommandations présentées au tableau 1 fournissent le contexte général à partir duquel devront émerger des méthodes précises, adaptées aux circonstances. Ces méthodes devront aller plus loin que les lignes directrices générales pour la prévention des incendies, la lutte contre l'incendie et les opérations de nettoyage après le sinistre.

Tableau 1 Recommandations

	Mesures préventives	Mesures de lutte contre les incendies	Mesures pour le nettoyage
Santé et sécurité des personnes	Information et formation Identification de l'équipement Moyens de protection Plan d'intervention d'urgence	Conscience de la présence de PCB Vêtements protecteurs adéquats Secours médicaux Évacuation des lieux	Information Mesures de protection: des lieux; des personnes Secours médicaux
Équipement et installations	Programmes - exploitation - entretien/ inspection Systèmes de sécurité Gestion des PCB	Stratégies de lutte contre les incendies Produits pour combattre les incendies	Élimination de la suie Inspection
Protection de l'environnement	Confinement: - des liquides contenus dans les pièces d'équipement - des contaminants		Décontamination Élimination

Les recommandations tiennent compte des précautions supplémentaires à prendre en cas de formation et de diffusion de PCDF pendant et après un incendie.

5.2 Examen des recommandations; mesures préventives

SANTÉ ET SÉCURITÉ DES PERSONNES

Les mesures suivantes s'adressent d'abord aux employés; elles faciliteront également le travail des équipes d'intervention d'urgence.

1. Information et formation

Les employés doivent être informés de la marche à suivre en cas d'incendie. Cela aura comme double effet d'éviter que des gens mal informés ne soient exposés durant l'incendie, et de rendre les gens plus prudents. De la pratique, des répétitions et des séances de formation sont nécessaires; elles permettront aux employés d'évacuer rapidement les lieux et de prendre les précautions adéquates avant l'arrivée des équipes d'intervention.

Les préposés à la sécurité incendie doivent bien connaître les risques supplémentaires représentés par les PCDF, ainsi que les mesures spéciales à prendre en cas d'incendie d'équipement électrique, avec présence possible de PCDF.

2. Identification de l'équipement

Chaque pièce d'équipement électrique contenant des précurseurs de PCDF doit être identifiée à l'aide d'une étiquette; de plus, l'emplacement de chaque pièce sera indiqué sur un plan schématique de l'installation. Cela évitera qu'une personne mal informée puisse être exposée au moment d'un incendie, et rendra les employés plus prudents. En outre, il sera ainsi plus facile de délimiter les zones à éviter ou celles dont l'accès devra être restreint à des personnes autorisées.

Les équipes d'intervention d'urgence (service d'incendie, services gouvernementaux de protection de l'environnement) doivent également être informées sur la nature et l'emplacement de l'équipement, de façon à se munir du matériel approprié et à prendre les mesures qui s'imposent en cas d'urgence.

3. Moyens de protection

Les systèmes d'alarme-incendie et les extincteurs doivent être clairement identifiés à l'aide d'étiquettes, et facilement accessibles. Les systèmes de communication

par haut-parleur doivent être vérifiés à intervalles réguliers. Enfin, les sorties de secours doivent être libres de tout obstacle.

Les extincteurs et les respirateurs autonomes (SCBA) doivent être inspectés régulièrement.

4. Plan d'intervention d'urgence

Ce plan doit présenter une marche à suivre simple et claire, ainsi que diverses options pour faire face à des situations d'urgence. Le plan devra être communiqué aux équipes d'intervention et être examiné avec elles. Enfin, le plan devra évaluer les besoins en ce qui concerne l'évacuation des lieux, ainsi que les mesures à prendre avant l'arrivée des équipes d'intervention.

ÉQUIPEMENT ET INSTALLATIONS

Les mesures suivantes visent principalement à protéger l'équipement et les installations.

1. Programmes

a) D'exploitation. - L'équipement ne doit pas être exploité au-dessus des valeurs normales de fonctionnement. Un équipement de taille insuffisante (donc surchargé) est plus vulnérable, ce qui augmente les risques d'incendie.

b) D'entretien et d'inspection. - Un programme d'inspection efficace permet de maintenir l'équipement en bon état de fonctionnement et de déceler les pièces défectueuses. Ce programme permet de réparer l'équipement avant qu'il ne devienne dangereux.

2. Systèmes de sécurité

a) Un système d'extinction bien conçu peut commencer à combattre l'incendie avant même que les équipes d'intervention d'urgence n'aient pris connaissance du sinistre. Il faut installer des systèmes d'extinction automatiques et répartir de petits extincteurs portatifs à des endroits choisis.

b) En coupant le courant, on réduit le risque de formation d'arcs et de produits de dégradation de PCB/PCBZ; cela a aussi pour effet de couper l'arrivée d'énergie et, par conséquent, de réduire l'intensité du feu. En outre, la lutte contre l'incendie est retardée tant que l'équipement n'est pas mis hors circuit. Une prompte intervention permet de réduire les dommages à l'équipement et de limiter la quantité de fumée et de suie produite. Il faut installer sur l'équipement des systèmes d'alarme et (ou) des systèmes de mise hors circuit.

c) Le système d'aération est une des principales voies de propagation des contaminants. La fumée, les vapeurs et les gaz chauds peuvent être entraînés par convection dans tout un bâtiment avec, comme conséquence, une diffusion massive de la contamination à partir d'une source ponctuelle. Il faut installer des mécanismes d'autofermeture du réseau d'aération.

3. Gestion des PCB

a) Ne pas mettre ensemble de l'équipement contenant des PCB et de l'équipement exempt de PCB.

Les transformateurs et les condensateurs aux PCB doivent être séparés physiquement de l'équipement exempt de PCB, de façon qu'en cas d'incendie dans un transformateur à huile minérale le feu ne se propage pas à l'équipement contenant des PCB.

Un incendie qui a pris naissance dans un équipement contenant des PCB ne continue pas à s'auto-alimenter une fois le courant coupé, alors que dans un transformateur à huile minérale le feu ne s'arrêtera pas pour autant. S'il y a présence de PCB dans un feu auto-alimenté, il devient de plus en plus difficile d'arrêter la diffusion des contaminants; en effet, il faut non seulement confiner les contaminants, mais en même temps mener une lutte plus urgente contre l'incendie.

b) Enlever le PCB de l'équipement, et les remplacer par des liquides qui en sont exempts. Cela permet, chaque fois que c'est possible, de réduire les risques sans avoir à remplacer tout l'équipement à un coût très élevé.

Cette méthode présente des inconvénients:

a) L'inflammabilité d'un appareil ainsi rechargé est plus grande que celle de l'appareil aux PCB;

b) Les opérations de vidange et de ré-remplissage de l'équipement ne sont pas toujours faciles du point de vue pratique;

c) Le liquide de remplacement peut devenir contaminé et contenir plus de 50 ppm de PCB.

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Les mesures suivantes visent principalement à minimiser la diffusion des produits dans l'environnement.

Confinement des liquides en cas de fuite

Un dispositif de confinement (par ex. berme, bordure ou barrage), capable de retenir plus que le volume total de liquide contenu à l'intérieur de l'équipement, doit être prévu pour chaque pièce d'équipement.

Les drains dans le plancher doivent se situer à l'extérieur de l'aire de confinement. Un système de scellage des drains est nécessaire pour empêcher les contaminants de s'échapper jusqu'au réseau d'égouts.

Confinement des contaminants

Toutes les surfaces (murs, plafonds et planchers) doivent être peintes avec des produits imperméables au PCB et aux PCDF. Cette précaution facilitera le nettoyage et évitera peut-être aussi d'avoir à enlever des matériaux à l'intérieur du bâtiment au moment de la décontamination.

5.3 Examen des recommandations; mesures pour combattre un incendie

SANTÉ ET SÉCURITÉ DES PERSONNES

Les mesures suivantes concernent les précautions supplémentaires à prendre en prévision des risques inhérents aux incendies impliquant des PCB.

1. Présence de PCB

Indiquer aux équipes d'intervention d'urgence la nature et l'emplacement de l'équipement contenant des PCB. Cela permettra à ces équipes d'utiliser les techniques d'extinction appropriées et de se munir des vêtements protecteurs voulus.

2. Vêtements protecteurs appropriés

Comme les dangers sont également ceux d'un incendie de nature électrique, les vêtements protecteurs doivent être efficaces contre la chaleur, les asphyxiants, ainsi que les atmosphères corrosives. La protection contre les PCDF doit être fondée sur une limite de 1,5 ng/m^3 (moyenne pour 24 heures*). Cela signifie l'emploi obligatoire d'un vêtement protecteur totalement isolant et d'un respirateur autonome.

3. Secours médicaux

En raison des effets extrêmement toxiques des produits, des secours médicaux doivent être disponibles. Lorsque des personnes ont été exposées à des gaz dégagés par un incendie, il faut décontaminer la peau ainsi que l'équipement protecteur.

Des analyses médicales sont également nécessaires.

4. Évacuation des lieux

Toutes les ouvertures d'aération (entrées et sorties) dans le bâtiment doivent se fermer automatiquement. Si la contamination peut se propager à des bâtiments voisins, il faut les évacuer. Le caractère très toxique des PCDF exige beaucoup de prudence.

---

*Le ministère ontarien du Travail, dans ses directives sur les teneurs en dioxines chlorées et en dibenzofuranes chlorés de l'air ambiant (déc. 1982), a proposé une limite annuelle d'exposition aux TCDD de 30 pg/m^3. Les PCDF n'ont pas été quantifiés comme tels, mais la limite pour les mélanges de TCDD et de PCDF laisse supposer que les TCDD sont 50 fois plus toxiques. Cela donnerait donc une limite moyenne annuelle de 1 500 pg/m^3, ou 1,5 ng/m^3.

ÉQUIPEMENT ET INSTALLATIONS

Les mesures suivantes visent à éteindre le plus rapidement possible l'incendie, ce qui minimisera les risques et les dommages.

1. Stratégies pour combattre l'incendie

a) Électricité. - S'assurer que le courant est coupé. Si cela n'est pas le cas, il devient beaucoup plus difficile de combattre l'incendie en raison des précautions supplémentaires à prendre pour assurer la sécurité des employés et lutter contre le feu.

b) Aération. - Si l'un des trois éléments nécessaires au feu est absent - dans ce cas il s'agit de l'oxydant (O_2, air) - l'incendie peut être maîtrisé à un coût beaucoup moindre et avec des dommages bien moins lourds.

S'assurer que les entrées/sorties d'air et les accès au système d'aération du bâtiment sont tous fermés. S'ils ne sont pas fermés, une contamination ponctuelle risque de se transformer en problème environnemental majeur, avec contamination de tous les secteurs alimentés par le système d'aération du bâtiment.

Une fois le feu éteint, il faut être très prudent, car il peut y avoir réinflammation lorsque l'air est de nouveau admis et qu'il reste des sources d'inflammation.

2. Produits pour combattre l'incendie

L'anhydride carbonique (CO_2) et l'HALON^{MD} agissent en séparant l'oxydant (O_2, air) du combustible. Ces produits n'ont pas un effet refroidissant aussi efficace que l'eau, mais ils ne présentent pas les inconvénients de cette dernière.

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Pour ce qui est de la protection de l'environnement, l'accent a été mis sur les mesures préventives, ce qui justifie la priorité accordée aux mesures pour combattre l'incendie en cas d'urgence.

5.4 Examen des recommandations; mesures pour le nettoyage

SANTÉ ET SÉCURITÉ DES PERSONNES

Ces mesures visent à minimiser l'exposition aux effets toxiques des contaminants.

1. Information

Les travailleurs doivent être renseignés sur les risques relatifs à la santé et l'hygiène du milieu que présentent les PCB, les PCDD et les PCDF, et sur les produits de nettoyage utilisés. Il faut non seulement fournir aux équipes de nettoyage des vêtements protecteurs, mais également les renseigner sur les dangers inhérents à l'intervention proprement dite.

2. Mesures de protection

a) Les lieux. - Étudier la contamination des lieux de façon à pouvoir: a) évaluer le niveau de risque; b) déterminer les limites du nettoyage; c) fournir tous les renseignements sur l'utilisation de vêtements protecteurs appropriés; d) décider du moment où le nettoyage peut être considéré comme terminé.

b) Les personnes. - Bien qu'il n'y ait plus de danger directement associé au feu au moment du nettoyage, la protection contre les PCDF doit être maintenue à un haut niveau. Généralement, les vêtements protecteurs doivent pouvoir être décontaminés ou jetés.

La décontamination de l'air grâce à un système de purification par aspiration permettra de réduire les risques d'inhalation et de contamination de la peau dus à la présence de particules dans l'atmosphère, ce qui réduira la nécessité d'appareils respiratoires.

3. Secours médicaux

Des secours médicaux rapides sont indispensables chaque fois qu'il y a exposition à des produits formés lors d'un incendie impliquant du matériel électrique. Si on soupçonne le moindre risque d'exposition, les membres de l'équipe d'intervention doivent subir un examen médical.

Lorsque l'on procède à la décontamination, il faut s'assurer que les membres de l'équipe de nettoyage ne sont porteurs d'aucun produit dangereux et que l'équipement et les vêtements ont été nettoyés ou éliminés.

ÉQUIPEMENT ET INSTALLATIONS

Les mesures suivantes visent à éliminer efficacement et complètement les contaminants.

1. Élimination de la suie

La principale voie de contamination par les PCDF est la suie qui se dépose sur les surfaces. Comme les PCDF sont fortement absorbés par la suie, l'élimination de cette dernière réduit les risques. Le meilleur moyen d'enlever la suie libre est d'utiliser un aspirateur à haut rendement, muni d'un système de filtration très efficace pour l'air évacué. La suie qui adhère trop fortement à la surface pour pouvoir être enlevée par l'aspirateur sera éliminée par lavage avec des solvants organiques. Des mélanges d'eau et de détergent, avec frottage mécanique, peuvent également se révéler utiles, particulièrement dans la phase finale du nettoyage. Les lavages doivent être répétés jusqu'à ce que la contamination de la surface soit réduite à 10 ng de PCDF par m^3. Tous les produits et résidus de nettoyage doivent être recueillis pour traitement ou élimination.

L'utilisation d'un rideau protecteur permet de nettoyer à fond de petites sections d'un ensemble plus vaste, sans recontaminer ce dernier avec les débris ou des contaminants provenant de sections non encore nettoyées. L'installation de rideaux protecteurs est coûteuse en temps et en argent, mais elle permet souvent d'éviter d'avoir à effectuer un nouveau nettoyage.

2. Inspection

Les ouvertures d'aération de tous les bâtiments situés à proximité de l'incendie doivent être bien examinées. S'il y a des traces de suie dans ces ouvertures, elles doivent être immédiatement analysées; et, s'il y a contamination, il faudra immédiatement mettre en oeuvre les mesures de nettoyage appropriées dans les secteurs touchés.

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Les mesures suivantes visent à empêcher la diffusion des contaminants.

1. Décontamination

On peut empêcher la contamination de s'étendre en maintenant la zone contaminée sous pression réduite. L'évacuation de l'air par un système de filtration à haut rendement permet de maximiser les avantages de la décontamination. L'intervention d'une équipe de décontamination oeuvrant sur place, à l'aide d'un équipement de nettoyage, permettra de circonscrire la contamination.

2. Élimination

Tous les éléments contaminés doivent être stockés dans des récipients étiquetés et numérotés. L'équipement et les produits ayant servi au nettoyage doivent être considérés comme contaminés, et conservés jusqu'à leur traitement ou leur élimination. Cela s'applique aussi aux vêtements et aux outils; une fois que ceux-ci ont été décontaminés, les liquides de lavage devront être traités comme des produits contaminés, puis stockés de façon appropriée. Tous les produits et éléments contaminés devront être éliminés dans une décharge autorisée à recevoir des déchets dangereux.

RÉFÉRENCES*

1. Environment Canada, Preliminary Socio-Economic Impact Analysis for Chlorobiphenyl Draft Regulations. Inventory and Attrition Rate, p. 5, M. M. Dillon Limited, April, 1981.

2. B. Jansson and G. Sundstroem, "Formation of Polychlorinated Dibenzofurans (PCDF) During a Fire Accident in Capacitors Containing Polychlorinated Biphenyls (PCB)", Vol. 5: Chlorinated Dioxins and Related Compounds, p. 201, Pergamon Press (1982).

3. Malarek, Victor, "Workers Not Told Second Chemical Released by Fire", The Globe and Mail (3 February, 1978).

4. Jones, P.A., Environnement Canada. Les chlorophénols et leurs impuretés dans l'environnement canadien, rapport SPE 3-EC-81-2, mars 1981.

5. Buser, H-R., PCDDs and PCDFs: Formation, Occurrence and Analysis of Environmentally Hazardous Compounds, Doctoral Dissertation, University of Umea, Sweden (1978).

6. Vos, J.G., J.H. Koeman, H.L. Van der Maas, M.C. Noever de Brauw, and R.H. de Vos, Food Cosmet. Toxic., 8, 625 (1970).

7. Moore, J.A., IARC Meeting on PCDDs and PCDFs, Lyon, January 10-11, 1978.

8. Hryhorczuk, D.D., W.A. Withrow, C.S. Hesse and V.R. Beasley, Arch. Environ. Health, 36(5), 228 (1981).

9. Bauer, H., R.H. Schulz and U. Spiegeberg, Arch. Gewerbepath. Gewerbehyg., 18, 538 (1961).

10. Kuratsune, M., T. Yoshimura, J. Matsuzaka and A. Yamaguchi, Environ. Health Perspect., 1, 119 (1972).

11. Buser, H-R., H-P. Bosshardt, C. Rappe and R. Lindahl, Chemosphere, 7(5), 419 (1978).

12. Reference 2, pp. 201-8.

13. Chittim, B., B.S. Clegg, S. Safe and O. Hutzinger, PCDFs and PCDDs: Detection and Quantitation in Electrical Equipment and their Formation During the Incineration of PCBs, Report to Environment Canada, DSS File No. 04SS.KE109-8-6377 (1979).

14. Lustenhouwer, J.W.A., K. Olie and O. Hutzinger, Chemosphere, 9(7/8), 501 (1980).

*Liste reproduite de l'édition anglaise.

15. Buser, H-R., Chemosphere, 8(6), 415 (1979).

16. Buser, H-R., and C. Rappe, Chemosphere, 8(3), 157 (1979).

17. Choudhry, G.G. and O. Hutzinger, Toxicol. Environ. Chem., 5, (3-4), 295 (1982).

18. Nagayama, J., M. Kuratsune and Y. Masuda, Fukuoka Igaku Zasshi, 72(4), 136(1981) Chemical Abstracts 95(11):97484h (1981).

19. Buser, H-R., H-P. Bosshardt and C. Rappe, Chemosphere, 7(1), 109 (1978).

20. Nakagawa, J., M. Morita, K. Akiyama, Y. Higuchi and S. Mimura, Tokyo-Toritsu Eisei Kenkyusho Wempo, 28(1), 260(1977). Chem. Abstracts 91(5):39223d.

21. Morita, M., J. Nakagawa and C. Rappe, Bull. Environ. Contam. Toxicol., 19(6), 665 (1978).

22. Weber, I., RTE Corporation, Wisconsin, Personal Communication, March, 1983.

23. American National Standard ANSI/ASTM D2283-75, Standard Specification for Chlorinated Aromatic Hydrocarbons (Askarels) for Transformers.

24. American National Standard ANSI/ASTM D2233-74, Standard Specification for Chlorinated Aromatic Hydrocarbons (Askarels) for Capacitors.

25. Report on Lamp Ballasts Containing PCBs. M.M. Dillon Limited, 31 March, 1983.

26. Proceedings of the PCB Seminar, Scheveningen, Netherlands, Sept. 28-30, 1983.

ANNEXE

TORONTO - 9 DÉCEMBRE 1977

Introduction

Rue Adelaide, au centre-ville de Toronto, une salle souterraine de câbles logeait deux transformateurs: l'un était rempli d'huile minérale; l'autre, un transformateur de 1 500 kVA, installé en 1965, contenait 1 800 litres d'askarel. L'accident se produisit au début de l'heure de pointe du matin.

L'accident

Une fissure apparut dans le disjoncteur (2 500 A, basse-tension); les relais protecteurs ne purent isoler immédiatement le défaut. Un arc se forma sur la fissure et déclencha un petit incendie électrique. La fissure s'étendit jusqu'au capot protecteur en porcelaine sur le transformateur, provoquant la fuite de 450 litres d'askarel qui se répandirent sur le sol; une partie de l'askarel se vaporisa au-dessus de l'arc électrique. Les relais protecteurs coupèrent les lignes d'alimentation primaire, et les fusibles basse-tension sautèrent, débranchant le transformateur à askarel du transformateur à huile minérale.

Vingt-deux pompiers combattirent l'incendie; aucun d'entre eux n'entra dans la salle. Ils portaient un appareil respiratoire autonome pour se protéger de l'épaisse fumée noire sortant de la salle. Les pompiers remplirent la salle d'anhydride carbonique (CO_2) par les grilles d'aération, et réussirent ainsi à éteindre le feu.

Les suites de l'accident

Les lignes primaires alimentant le transformateur à huile minérale furent coupées de façon à couper complètement l'alimentation du réseau ponctuel. Les employés de Toronto Hydro pénétrèrent dans la salle et constatèrent que les 450 litres d'askarel déversés avaient été contenus dans un puits entourant le transformateur à askarel. Les employés de Toronto Hydro isolèrent ce transformateur de façon à pouvoir rétablir le courant dans un bâtiment voisin, grâce au transformateur à huile minérale. Ce n'est qu'à ce moment-là qu'on sut qu'il y avait présence de PCB.

Une compagnie d'entretien de matériel électrique, habituée à travailler sur des appareils à askarel, pompa l'askarel encore présent dans le transformateur et retira l'unité au complet.

Certains des employés se plaignirent après l'incendie des symptômes suivants: maux de tête, irritation et larmoiement des yeux, nausées, vomissements et éruptions cutanées semblables à l'herpès sur le visage et les mains.

Vingt-cinq employés d'Hydro qui s'étaient exposés au feu sans vêtements protecteurs appropriés, ainsi que les vingt-deux pompiers furent soumis à des analyses relatives à la teneur en PCB une semaine après l'incendie: aucune teneur élevée en PCB ne fut notée. Les pompiers furent soumis à des examens au cours des six mois suivant l'incendie: on n'observa chez eux aucun effet néfaste.

Une entreprise de nettoyage spécialisée ceintura la salle à l'aide de bermes de sable et d'une barricade. Elle décontamina le secteur en pulvérisant d'abord du fuel-oil nº 2 puis du détergent. Tous les accessoires de la salle ne pouvant être décontaminés furent retirés pour élimination. Tout l'équipement et les vêtements contaminés de l'entreprise de nettoyage, de Toronto Hydro et du service d'incendie furent recueillis.

Après un premier nettoyage, la salle fut soumise à des analyses pour les PCB dans l'air: les résultats montrèrent qu'il y avait plus de 30 µg de PCB par m^3 (ministère ontarien des normes environnementales). La salle fut à nouveau nettoyée jusqu'à ce que la teneur en PCB tombe au-dessous de la limite permise; les agents de nettoyage furent tous recueillis.

De la suie renfermant 10 000 ppm de PCB recouvrait une aire de 70 m^2 à proximité du lieu de l'incendie. On fit appel aux services d'une seconde entreprise pour décontaminer les murs des bâtiments voisins. L'eau, les vêtements et l'équipement contaminés qui ne pouvaient être nettoyés furent éliminés dans une décharge spéciale pour PCB à Niagara Falls (New York).

La suie avait des teneurs de 5 ppm en PCDF. On décela également des PCDD dans des échantillons d'air et de suie prélevés sur les lieux de l'incendie à la fin de décembre.

Les pertes, évaluées à 100 000 $, englobaient le coût du transformateur détruit, de la main-d'oeuvre pour le remplacer, les frais de décontamination de la salle, des bâtiments et des environs, ainsi que les dépenses pour l'élimination des éléments contaminés.

BINGHAMPTON - 5 FÉVRIER 1981

Introduction

L'immeuble State Office Building de Binghampton est la tour centrale d'un complexe gouvernemental dont la construction a été terminée au printemps de 1973. Il a 18 étages et s'élève à 90 mètres au-dessus du niveau de la rue; de plus, il compte deux paliers souterrains. La tour abrite 33 organismes gouvernementaux, regroupant 700 employés. Au moment de l'incendie (5 h 30), seuls un garde de sécurité et un mécanicien de machine fixe étaient de service.

L'accident

Une connexion lâche ou quelque saleté peuvent avoir causé la défectuosité électrique qui s'est produite à l'intérieur du système principal de commutation, situé à proximité d'un transformateur à askarel dans la salle des machines, au sous-sol. La défectuosité déclencha un incendie qui dégagea une chaleur intense; celle-ci provoqua la fissuration du capot de protection en porcelaine du transformateur, ce qui entraîna la fuite de 700 litres d'askarel sur le sol. Ce transformateur contenait 4 000 litres de Pyranol^{MD} (65 p. 100 d'Aroclor^{MD} 1254 et 35 p. 100 de chlorobenzènes).

L'incendie fit rage pendant 45 minutes avant que le courant puisse être coupé; pendant ce temps, la température au centre de l'incendie atteignit 1 000 °C. Le Pyranol^{MD} se vaporisa et contamina la suie et les cendres. L'énorme gradient de température à partir du sous-sol jusqu'au toit (-20 °C) propulsa la suie dans l'escalier de secours et dans un puits d'aération, ce qui contamina les dix-huit étages de la tour.

Avant de commencer à éteindre l'incendie, les pompiers attendirent que le courant soit coupé. Cela fait, après que les pompiers eurent été informés de la présence de Pyranol^{MD}, ils éteignirent l'incendie en ventilant le secteur et en arrosant les flammes avec de l'eau. Il fallut 35 à 40 minutes pour éteindre le feu. Les pompiers portaient les vêtements protecteurs standards suivants: Scott Airpaks^{MD}, vestes et pantalons de poly/toile totalement isolants, bottes de caoutchouc et gants à manchettes.

Les suites de l'accident

Les agents du gouvernement qui enquêtèrent sur l'incendie constatèrent que la suie s'était échappée du sous-sol à travers une porte qui avait été entrouverte pour

empêcher les tuyaux de geler; elle s'était propagée ensuite dans toute la tour, entraînée par un courant d'air régulier s'échappant par deux trappes au sommet du toit au-dessus de l'escalier de secours, lesquelles s'ouvraient automatiquement au déclenchement du signal d'alarme-incendie.

Tous les pompiers prirent comme d'habitude une douche immédiatement après l'incendie. Tous les équipements et vêtements furent éliminés, mais l'eau utilisée ne fut soumise à aucune opération de confinement. L'un des pompiers souffrit d'éruptions récidivantes au visage; deux autres eurent des brûlures éruptives après qu'un liquide chaud eut pénétré à l'intérieur de leurs vêtements protecteurs.

Des échantillons de suie furent immédiatement prélevés par frottement et analysés. Un système de sécurité de 24 heures fut mis en place pour contrôler l'accès au bâtiment. Une unité mobile installée à l'entrée de service au sous-sol servit de module d'entrée et de sortie; cette unité renfermait un dispositif d'accès au reste de l'immeuble, des casiers, des douches, des pièces de repos et les bureaux du service de sécurité.

Tout employé pénétrant dans l'immeuble devait porter un respirateur (muni de filtres à charbon actif et à haut rendement pour les particules solides) recouvrant tout le visage, ainsi que des vêtements protecteurs spéciaux: chaussettes, sous-vêtements, espadrilles, bottes de caoutchouc, salopette une pièce, couvre-tout protecteur Tyvek^{MD}, et gants de coton et de caoutchouc. En sortant de l'immeuble, les employés devaient enlever tous les vêtements protecteurs et prendre une douche. Les respirateurs étaient nettoyés et les filtres, remplacés; on jetait les filtres ainsi que les combinaisons de protection et les gants après emploi.

Une semaine après l'incendie, les résultats des analyses montrèrent que la suie était contaminée par des PCDF, des PCDD, des biphénylènes et des naphtalènes, dont les teneurs allaient jusqu'à 2,9 ppm pour la 2,3,7,8-TCDD et 124 ppm pour le 2,3,7,8-TCDF. Les surfaces horizontales du bâtiment étaient recouvertes de suie contaminée, à raison de 162 µg de PCB/m^2.

Les surfaces contaminées par la suie et les particules de fumée furent d'abord nettoyées à l'aide d'un aspirateur à haut rendement, muni de sacs approuvés pour l'amiante, puis lavées avec de l'eau et un détergent anionique (Triton^{MD} X-100). Les chiffons utilisés pour le nettoyage étaient jetés dès qu'ils paraissaient légèrement noircis par la suie. Les éléments exposés, difficiles à nettoyer (papier, tapis, rideaux, etc.), furent mis dans des sacs en plastique et stockés dans le sous-sol du bâtiment.

Toute l'eau évacuée de l'immeuble pendant le nettoyage fut recueillie dans des barils de 55 gallons pour traitement et élimination, en attendant qu'un système de traitement avec filtre à charbon et trois piscines hors-terre en plastique soit mis en place dans le sous-sol de l'immeuble. On faisait recirculer l'eau contaminée dans le système de filtration sur charbon jusqu'à ce qu'elle soit assez décontaminée (moins de 1 µg/l) pour être envoyée à la station d'épuration de la municipalité.

Un système de décontamination par filtration fut installé dans l'immeuble pour épurer l'air quittant le bâtiment. Le système produisait une pression négative dans tout l'immeuble de façon à aspirer l'air à partir de l'extérieur dans l'immeuble, qu'il traversait pour finalement sortir par les filtres du toit.

Le nettoyage préalable permit de réduire les teneurs à 1 µg de PCB par m^2 sur les surfaces de verre et les surfaces peintes. Comme le nettoyage ne permit pas de décontaminer de façon satisfaisante les revêtements poreux de céramique et de vinyle du plancher, ces derniers furent enlevés pour élimination. Beaucoup de personnes pensent qu'un nettoyage des revêtements aurait suffi si on n'avait pas laissé pénétrer la suie huileuse dans les surfaces poreuses pendant une période allant parfois jusqu'à 6 mois (période pendant laquelle on mettait au point la stratégie pour le nettoyage et les mesures de sécurité).

Les employés chargés du nettoyage ont été régulièrement soumis à des analyses de sang. Seules de l'acné chlorique et des "éruptions" ont été mentionnées comme symptômes d'exposition. Les analyses de sang furent effectuées chez ceux qui les demandèrent, estimant qu'ils avaient été exposés pendant et après l'incendie. Les résultats de ces analyses ne furent pas concluants; elles devaient être refaites.

Le nettoyage préalable se termina au bout de 14 mois.

Le critère pour l'achèvement du nettoyage préalable était l'élimination de toute la suie libre, contaminée par les PCDF et les PCDD, de l'immeuble, de façon à remettre en marche l'aération normale; celle-ci est nécessaire pour l'utilisation des solvants organiques, nécessaires pour une décontamination plus poussée de l'immeuble.

Tous les éléments qui ne purent pas être décontaminés furent mis dans des fûts et envoyés à la décharge contrôlée SECOS, à Niagara Falls (New York).

Pour le nettoyage final, on attend une décision des autorités scientifiques sur le niveau de décontamination (c'est-à-dire sur la limite supérieure tolérable de contamination par les PCDF et les PCDD) de l'immeuble, acceptable pour sa réouverture. Le nettoyage final comprendra probablement, entre autres opérations, le remplacement de

tous les carreaux de vinyle et de céramique (du fait qu'il a été impossible de les nettoyer à l'aide de détergents), et l'application sur les murs d'une peinture résistante aux produits chimiques.

Le 31 janvier 1983, le gouverneur Mario Cuomo de l'État de New York déclara que 8,6 millions de dollars avaient déjà été dépensés pour le nettoyage de l'immeuble de Binghampton et que trois millions supplémentaires seraient accordés en 1983 pour achever l'opération.

La réoccupation de l'immeuble est prévue pour l'été 1985; à cette date, le coût du nettoyage pourrait atteindre le coût de construction de l'immeuble, soit 20 millions de dollars.

UNIVERSITÉ DU MANITOBA - 29 MARS 1982

Introduction

Une pièce située dans le sous-sol du laboratoire de génie électrique de l'université du Manitoba à Winnipeg contenait six transformateurs, utilisés à des fins tant expérimentales qu'utilitaires. Ces transformateurs étaient remplis d'huile minérale. Personne ne se trouvait sur les lieux de l'incendie au moment du sinistre (tôt le matin).

L'accident

Une défectuosité électrique provoqua la formation d'un arc dans l'un des transformateurs, ce qui déclencha l'incendie. L'huile minérale s'enflamma, le feu se propageant alors aux autres transformateurs.

Les pompiers éteignirent le feu avec de l'eau. Le courant n'était probablement pas coupé, car un transformateur explosa, projetant de la suie huileuse dans toute la pièce. Les pompiers portaient des vêtements ordinaires, sans protection spéciale contre les produits chimiques; en effet, on pensait que les transformateurs ne contenaient que de l'huile minérale.

Tout le laboratoire fut contaminé par la suie, et l'eau ne fit pas l'objet de mesures de confinement.

Les suites de l'accident

Le ministère manitobain de l'Environnement s'intéressa de près à l'incendie et fit analyser l'huile présente dans les transformateurs endommagés et sur les murs du laboratoire. Les résultats des analyses montrèrent que la suie était contaminée par 250 ppm de PCB. Il n'y avait pas de PCDF à la limite de détection des appareils.

Des précautions contre la contamination par les PCB furent prises pendant le nettoyage. De plus, on effectua des analyses de sang.

Des entrepreneurs privés furent chargés de nettoyer l'équipement haute-tension à l'aide de Keysolve^{MD}. Un système d'évacuation fut mis en place pour éliminer les vapeurs de Varsol^{MD}. Les membres des équipes de nettoyage portaient des respirateurs à adduction d'air pur, des gants et des bottes de caoutchouc, ainsi que des vêtements à jeter après usage, imperméables aux produits chimiques.

Tous les éléments contaminés qui ne purent être décontaminés furent mis dans des fûts métalliques et envoyés pour élimination à une entreprise spécialisée, possédant un permis à cette fin.

DANVIKEN, SUÈDE - AOÛT 1981

L'accident

Un mauvais fonctionnement électrique déclencha un incendie qui brûla 18 condensateurs dans un poste de transformation. Les pompiers ne portaient aucun équipement protecteur spécial contre les PCB.

Les suites de l'accident

On observa: 1 à 3 µg de PCDF par m^2 dans la suie; aucun PCDD à la limite de détection des appareils; la formation de chloropyrènes.

Nettoyage: utilisation d'un aspirateur à haut rendement; puis lavage au détergent.

Les personnes exposées eurent des analyses de sang: les résultats ne révélèrent aucune présence importante de PCB ni de PCDF. Il ne fut fait mention d'aucun symptôme dû à l'exposition. Tous les déchets contaminés furent stockés dans des fûts, en attendant la décision du gouvernement suédois au sujet de leur élimination.

SKOVDE, SUÈDE - MARS 1982

L'accident

Un mauvais fonctionnement électrique se produisit dans un condensateur à huile minérale d'un four haute-fréquence du circuit de coulage d'une usine de traitement des métaux de la compagnie Volvo. Un incendie dégageant une chaleur très intense éclata et se propagea aux autres condensateurs: 12 d'entre eux éclatèrent, et 9 demeurèrent scellés. L'incendie fit rage pendant 2 heures avant d'être éteint. La température était suffisamment élevée pour faire fondre un tuyau en cuivre (1 100 °C).

Les pompiers savaient qu'il y avait présence de PCB et portaient des vêtements protecteurs contre ces produits; par la suite, ces vêtements furent jetés.

Les suites de l'accident

On observa jusqu'à 900 µg de PCDF/m^2. Aucun PCDD ne fut décelé.

Nettoyage: utilisation d'aspirateurs à haut rendement; puis lavage au détergent.

Les personnes exposées eurent des analyses de sang; les résultats montrèrent qu'il n'y avait pas de teneur élevée en PCB ni en PCDF. Les rapports ne mentionnent aucun symptôme dû à l'exposition.

Après le nettoyage, la contamination par les PCDF était < 10 ng/m^2. En attendant la décision du gouvernement suédois au sujet de l'élimination des déchets contaminés, ceux-ci furent stockés dans des barils.

SURAHAMMAR, SUÈDE - 23 SEPTEMBRE 1982

L'accident

Une explosion dans un four à acier provoqua le déversement de 10 tonnes d'acier fondu (1 500 °C) dans l'aciérie. Cet acier fit fondre une porte métallique de la salle des condensateurs.

Les 500 condensateurs prirent feu; 200 d'entre eux contenaient des PCB (environ 2 000 kg). Les pompiers tentèrent d'éteindre avec de l'eau. Comme cela provoqua des explosions, ils décidèrent de laisser le feu se consumer tout seul.

Au moment de l'incendie, le bâtiment était occupé, mais tout le monde put sortir à temps. La chaleur était très intense, et de grandes quantités d'acide chlorhydrique furent produites par les PCB qui brûlaient.

Les suites de l'accident

On observa jusqu'à 4 µg de TCDF par m^2 dans la suie trouvée dans la salle des condensateurs. On ne détecta pas de PCDD.

Nettoyage: utilisation d'aspirateurs à haut rendement; puis lavage au détergent. La suie absorbée fut traitée par filtration sur charbon; le charbon contaminé fut ensuite stocké dans des fûts en acier pour élimination ultérieure. Un rideau mobile fut mis en place dans l'aciérie pour empêcher que des sections déjà nettoyées ne soient à nouveau contaminées.

Les préposés au nettoyage portaient des vêtements protecteurs jetables après usage, des bottes et des gants de caoutchouc, ainsi que des respirateurs à adduction d'air (celui-ci passait dans un filtre de fibre de verre avant d'être inhalé).

Les personnes exposées eurent des analyses de sang; les résultats ne révélèrent aucune teneur élevée en PCB ni en PCDF. Deux cas de problèmes cutanés, résultant de l'exposition à l'acide chlorhydrique, furent signalés.

Après le nettoyage, le niveau de contamination par les PCDF était < 10 ng/m^2. En attendant une décision du gouvernement suédois au sujet de leur élimination, tous les déchets contaminés furent stockés dans des fûts.